

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年1月22日 (22.01.2004)

PCT

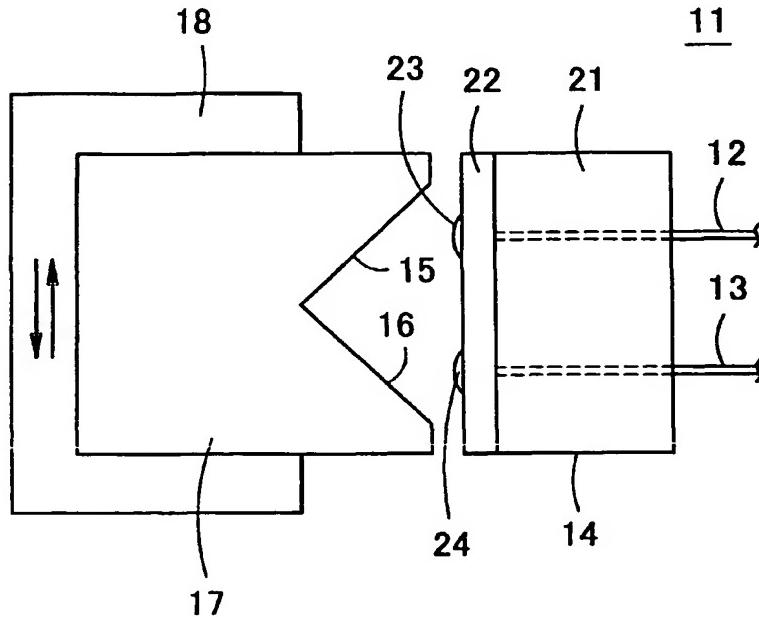
(10) 国際公開番号
WO 2004/008219 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 26/02
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/008188
- (22) 国際出願日: 2003年6月27日 (27.06.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-204727 2002年7月12日 (12.07.2002) JP
特願2003-10661 2003年1月20日 (20.01.2003) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): オムロン株式会社 (OMRON CORPORATION) [JP/JP]; 〒600-8530 京都府 京都市 下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 今井 清 (IMAI,Kiyoshi) [JP/JP]; 〒600-8530 京都府 京都市 下京区塩小路通堀川東入南不動堂町 801 番地 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 中野 雅房 (NAKANO,Masayoshi); 〒540-0012 大阪府 大阪市 中央区谷町1丁目3番5号 オグラ天満橋ビル Osaka (JP).
- (81) 指定国(国内): CA, CN, KR, US.

[統葉有]

(54) Title: VARIABLE LIGHT ATTENUATOR

(54) 発明の名称: 可変光減衰器



(57) Abstract: A variable light attenuator, wherein two mirrors (15) and (16) forming an angle of 90° are formed on the front surface of a mirror member (17), an input optical fiber (12) and an output optical fiber (13) are held on a fiber array (14) at a specified interval, and an outgoing lens (23) and an incident lens (24) are installed on the front surface of the fiber array (14) so as to be opposed to the end faces of the input optical fiber (12) and the output optical fiber (13), whereby the attenuated amount of light can be varied by linearly moving the mirror member (17) by an actuator (18).

[統葉有]



(84) 指定国(広域): ヨーロッパ特許(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR). 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:
— 国際調査報告書

(57) 要約: ミラー部材(17)の前面には、90度の角度をなす2つのミラー(15)(16)が形成されている。ファイバアレイ(14)には、入力用光ファイバ(12)及び出力用光ファイバ(13)が所定の間隔を置いて保持されており、入力用光ファイバ(12)及び出力用光ファイバ(13)の端面に対向するようにして、ファイバアレイ(14)の前面にそれぞれ出射レンズ(23)と入射レンズ(24)が設けられている。この可変光減衰器によれば、アクチュエータ(18)によりミラー部材(17)を直線状に動かせば、それによって光減衰量を変化させることができる。

明細書

可変光減衰器

技術分野

本発明は、光の減衰量を調節することのできる可変光減衰器に関する。

背景技術

可変光減衰器（VOA）は、入力用光伝送路（通常は、光ファイバ）から入射した光を減衰させて出力用光伝送路（通常は、光ファイバ）へ出力させるものであり、その光減衰量を可変に調整できる。このような可変光減衰器において光減衰量を制御する方法としては、これまで種々の方式のものが提案されている。例えば、対向する光ファイバ端面間に光路中にシャッタを出し入れし、その遮蔽度合いで光の減衰量を調整するメカニカル方式のものや、光路途中にファラデー回転子や熱光学素子などの光学素子を配置したものなどがある。

しかし、前者のメカニカル方式の可変光減衰器では、シャッタの縁で回折が起るので、波長依存性が生じる、また、偏波依存損失が発生するといった不具合がある。さらに、従来のメカニカル方式のもので用いられているアクチュエータは、サイズが大きく、可変光減衰器の小型化が困難であった。

後者の光学素子を用いた可変光減衰器では、ファラデー回転子や熱光学素子などの高価な光学素子を必要とするので、可変光減衰器が高価になる、また、光減衰量を自己保持できないので、光学素子に影響を与えるための電気的素子に通電し続ける必要があり、消費電力が大きかった。さらに、光学素子に関連して他の光学素子や光学素子に影響を与えるための電気的素子なども必要になり、構造が複雑になり易かつた。

また、光反射面を用いた可変光減衰器としては、米国特許のPatent Number 6,137,941に開示されたものが知られている。図1は、この従来の可変光減衰器の構造を示す概略図である。この可変光減衰器にあっては、図1に示すように、平行に揃えられた入力用光導波路1及び出力用光導波路2の端面にレンズ3を配置

し、レンズ3からレンズの焦点距離 f だけ離れた位置にミラー4を設け、ミラー4を支点5によって回動自在に支持している。ここで、入力用光導波路1と出力用光導波路2の中間線とレンズ3の光軸とは一致しており、その延長上に支点5が位置している。また、ミラー4とベース6との間には圧電アクチュエータ7が挿入されており、コントローラ8で制御しながら圧電アクチュエータ7を伸縮させることにより、ミラー4の傾きを任意に調整できるようにしている。

しかし、ミラー4がレンズ3の光軸と垂直になっている場合には、レンズ3の光軸と平行に入力用光導波路1から出射した光は、レンズ3を透過する際に屈折してミラー4に達し、ミラー4で反射した光は、再びレンズ3を透過する際に屈折してレンズ3の光軸と平行になり、出力用光導波路2へ入射する。この場合には、出力用光導波路2に入射する光の光軸と出力用光導波路2の軸心とが一致していると、出力用光導波路2に入射する光の光量は最大となる（光減衰量が最小となる。）。これに対し、圧電アクチュエータ7でミラー4を傾かせると、入力用光導波路1から出射されミラー4で反射した後に出力用光導波路2へ戻ってきた光の光軸は、出力用光導波路2の軸心からずれ、出力用光導波路2に入射する光の光量が減少するので、ミラー4の傾きが大きくなるほど、出力用光導波路2に入射する光の減衰量は大きくなる。

このような構造の可変光減衰器によれば、シャッタ方式の可変光減衰器のような波長依存性の問題もなく、光学素子によってコストが高価につくといった問題も回避することができる。

しかし、このような構造の可変光減衰器では、レンズ3とミラー4との距離をレンズ3の焦点距離だけ離さなければならず、しかも、入力用光導波路1から出射された光や出力用光導波路2に入射する光の収差を小さくするためには、できるだけレンズ3の光軸近くを使用する必要があり、短焦点レンズを用いることができないので、このような構造では可変光減衰器の小型化に限界があった。また、ミラー3の角度を傾ける方法では、ミラー3のわずかな傾きによっても出力用光導波路2に入射する光の光軸が敏感に変位するので、ミラー3の傾きをシビアに制御する必要があり、光減衰量を精度よく制御することが困難であった。なお、この可変光減衰器でも、圧電アクチュエータを使用しているので、ミラー3の

角度を自己保持できず、消費電力が高い。

発明の開示

本発明は、このような点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、小型化が可能で、精度良く光減衰量を制御することができる可変光減衰器を提供することにある。

本発明にかかる可変光減衰器は、入力用光伝送路から入射した光を減衰させて出力用光伝送路へ出力させると共にその光減衰量を調整可能な可変光減衰器において、前記入力用光伝送路と、前記出力用光伝送路と、前記入力用光伝送路から出射された光を前記出力用伝送路に向けて反射させる光反射面と、前記光反射面の全体又は一部を、前記入力用光伝送路又は前記出力用伝送路のうち少なくとも一方に対して相対的かつ直線状に移動させるアクチュエータとを備えたものである。

ここで、本発明にかかる可変光減衰器の実施態様においては、前記アクチュエータは、前記出射用光伝送路に向けて反射される光の光軸が前記出射用光伝送路の軸心に対して変位するように、前記光反射面の少なくとも一部、前記入力用光伝送路又は前記出力用光伝送路のうちいずれか（以下、光反射面等という。）を直線状に移動させるものとすることができます。

本発明にかかる可変光減衰器によれば、入力用光伝送路から出射された光を反射させる光反射面等をアクチュエータによって直動させることにより、出力用光伝送路に入射する光の光軸を出力用光伝送路に相対的に移動させることができ、それによって光減衰量を変化させることができる。ここで、光反射面とは、光を反射させることができるものであればよいが、特にミラー、金属鏡面、ミラーコーティング面などが望ましい。また、屈折率の異なる透明媒質の境界面（例えば、プリズムと空気との境界面）によって光反射面を形成し、光反射面で光を全反射させるものであってもよい。この光反射面としては、平面に形成されたものに限らず、球面等の曲面に形成されたものであってもよい。また、光反射面の移動方向は、いずれの光反射面も平面である場合には、すべての光反射面の面方向に平行な方向であってはならないが、曲面の場合には、このような制限はない。ま

た、入力用又は出力用光伝送路には、光ファイバや光導波路などを用いることができる。

しかし、この可変光減衰器は、入力用光伝送路から出射された光を反射させる光反射面等をアクチュエータによって直動させるだけの簡単な構造であるため、可変減衰器を小型化することが可能になる。また、光反射面等を直動させるだけであるので、光反射面を傾けるものに比較して、光反射面の移動時のバラツキが光減衰率に敏感に応答することなく、従って、光減衰量を精度良く制御することができる。

本発明にかかる可変光減衰器の別な実施態様は、前記入力用伝送路から出射されて前記出力用光伝送路に入射しない光を受光するモニター部を備えたものである。この実施態様の可変光減衰器は、出力用光伝送路に入射しない光を受光するモニター部を備えているので、出力用光伝送路に入射する光量を間接的に知ることができる。しかも、出力用光伝送路に入射する光量を直接検知するものではないので、可変光減衰器からの光出力の損失がない。また、モニター精度も高くすることができる。また、可変光減衰器にモニター部を設けることにより、可変光減衰器の後段などに個別のモニター部を設ける必要が無く、モニター部も含めた全体のコストを低減させることができ、また、モニター部を設けてもサイズがほとんど大きくなることがない。

さらに、この実施態様においては、前記出力用光伝送路の光入射面に対向させて配置された入射レンズと、前記モニター部の光入射面に対向させて配置されたモニターレンズとを一体化してもよい。このような可変光減衰器にあっては、入射レンズとモニターレンズを一体化しているので、入射レンズにもモニターレンズにも入射せずに損失となる光の光量を少なくできる。よって、モニタ用の光の光量が増加し、モニタ精度を高めることができる。また、損失となった光によって可変光減衰器の温度が上昇するのを防止することができる。

また、この実施態様においては、前記モニター部からの出力に応じて、前記光反射面の位置を補正する機能を備えていてもよい。例えばモニター部から出力されるモニター出力によって可変光減衰器をフィードバック制御することで、出力用光伝送路に入射する光量を一定に保ったり、光減衰量が一定になるように制御

したりすることができる。

本発明にかかる可変減衰器のさらに別な実施態様においては、前記アクチュエータが、ボイスコイルモータとラッチ機構によって構成されている。このような可変光減衰器は、ボイスコイルを用いているので、アクチュエータを非常に小さくすることができ、しかも光反射面を高精度に位置調整させることができる。また、ラッチ機構を備えているので、ボイスコイルに通電していない場合には、ラッチ機構により光反射面を固定することができる。特に、電気を用いないラッチ機構とすることにより、消費電力を低減させることができる。

本発明にかかる可変光減衰器のさらに別な実施態様においては、90度の角度をなす2つの前記光反射面を備えたミラー部材と、前記ミラー部材を直線状に移動させる前記アクチュエータとを備えている。このような可変光減衰器によれば、2つの光反射面が90度の角度を成すようにミラー部材に一体化されているので、光反射面どうしの角度を調整する必要が無く、ミラー部材と入力用光伝送路及び出力用光伝送路との調芯を行えば良いので、可変光減衰器の組み立てが容易になる。

本発明にかかる可変光減衰器のさらに別な実施態様においては、前記入力用光伝送路と前記出力用光伝送路を平行に並べて保持するファイバアレイを備えたことを特徴としている。この実施態様によれば、入力用光伝送路と出力用光伝送路がファイバアレイに一体化されているので、両光伝送路どうしの位置関係を調整する必要が無く、光反射面とファイバアレイの調芯を行えば良いので、可変光減衰器の組み立てが容易になる。

なお、この発明の以上説明した構成要素は、可能な限り任意に組み合わせることができる。

..
..

図面の簡単な説明

図1は、従来の可変光減衰器の構造を示す概略図である。

図2は、本発明の第1の実施形態による可変光減衰器の構造を示す平面図である。

図3は、同上の可変光減衰器を構成するアクチュエータ及びミラー部材とファ

イバアレイとを分離した状態の斜視図である。

図4 (1 a) (1 b) (1 c) は、金属プレスによってミラー部材を製造する方法を説明する概略図、(2 a) (2 b) (2 c) は切削加工によってミラー部材を製造する方法を説明する概略図である。

図5は、ファイバアレイのホルダー位置における断面図である。

図6 (a) (b) (c) は、図2に示した可変光減衰器の動作とその作用を説明する図である。

図7は、入射レンズに入射する光の光軸とレンズの光軸との間の光軸ずれと、光減衰量との関係を測定した結果を示す図である。

図8は、図2に示した可変光減衰器の変形例を示す分解斜視図である。

図9 (a) (b) (c) は、図8に示した可変光減衰器の変形例の動作とその作用を説明する図である。

図10は、本発明の第2の実施形態による可変光減衰器を示す平面図である。

図11 (a) (b) (c) は、同上の可変光減衰器の動作とその作用を説明する図である。

図12は、入射レンズに入射する光の光軸とレンズの光軸との間の光軸ずれと、出力用光ファイバでの光減衰量及びモニタ用光ファイバでの光減衰量との関係を表わす図である。

図13は、(a) (b) は、シングルモードファイバとマルチモードファイバとの差異を説明する図である。

図14は、出力用光ファイバにもモニタ用光ファイバにも入射せず、損失となる光を説明するための図である。

図15は、本発明の第3の実施形態による可変光減衰器に用いられるファイバアレイの正面図である。

図16 (a) (b) はハイブリッドレンズの正面図及び下面図、(c) はハイブリッドレンズを入射レンズとモニタレンズに分離して示した図である。

図17は、ハイブリッドレンズのより詳細な設計例を示す図である。

図18は、(a) (b) (c) (d) はハイブリッドレンズによるコリメート光の分割推移の様子を説明する図である。

図19は、従来の出力モニター方法を説明する図である。

図20は、本発明の第4の実施形態を示す概略ブロック図である。

図21は、(a) (b)は同上の制御回路内蔵可変減衰器における光減衰量の調整方法を説明する図である。

図22は、図20に示した制御回路内蔵可変減衰器の制御動作を表わしたフロー図である。

図23は、本発明の第5の実施形態による制御回路内蔵可変減衰器を示す概略ブロック図である。

図24は、同上の制御回路内蔵可変減衰器の制御動作を表わしたフロー図である。

図25は、本発明の第6の実施形態による制御回路内蔵可変減衰器を示す概略ブロック図である。

図26は、同上の制御回路内蔵可変減衰器による定減衰量制御の原理を説明する図である。

図27は、図25に示した制御回路内蔵可変減衰器の制御動作を表わしたフロー図である。

図28は、従来の定減衰量制御の方法を説明する図である。

図29は、(a) (b)は、本発明の第7の実施形態による可変光減衰器の構成を示す概略平面図である。

図30は、(a) (b)は、第7の実施形態による可変光減衰器の異なる構成を示す概略平面図である。

図31は、(a) (b) (c) (d)は本発明の第8の実施形態による可変光減衰器の構成と動作を示す概略平面図である。

図32は、超小型のボイスコイルモータ(VCM)を用いたアクチュエータの斜視図である。

図33は、(a) (b)はラッチ機構の動作を説明する側面図である。

図34は、(a) (b) (c) (d)は、別な構造のアクチュエータを説明する概略図である。

図35は、アクチュエータとして用いる超音波リニアモータの一部を拡大して

示す図である。

図36は、さらに別な構造のアクチュエータを示す平面図である。

図37は、さらに別な構造のアクチュエータを示す平面図である。

図38は、別な構造のラッチ機構を示す分解斜視図である。

図39(a)は、同上のラッチ機構において可動部が下がっている状態の側面図、(b)はその平面図である。

図40は、図38のラッチ機構において可動部が上がっている状態の側面図である。

図41(a)は、さらに別な構造のラッチ機構を示す側面図、(b)はその平面図である。

図42は、同上のラッチ機構において可動部が下がっている状態の側面図である。

図43(a)(b)は、さらに別な構造のラッチ機構を示す側面図である。

図44(a)(b)は、さらに別な構造のラッチ機構を示す側面図である。

図45(a)(b)は、さらに別な構造のラッチ機構を示す側面図である。

図46は、可変光減衰器の具体的製品の組み立て手順を示す図である。

図47は、図46の続図である。

図48は、図47の続図である。

図49は、可変光減衰器の具体的な製品形態の一例を表わした図である。

図50は、可変光減衰器の具体的な製品形態の一例を表わした図である。

図51は、可変光減衰器の具体的な製品形態の一例を表わした図である。

図52は、可変光減衰器の具体的な製品形態の一例を表わした図である。

図53は、(a)(b)は、本発明のさらに別な実施形態による可変光減衰器の構成を示す概略平面図である。

図54は、(a)(b)(c)は、本発明のさらに別な実施形態による可変光減衰器の構成を示す概略平面図である。

図55は、(a)(b)(c)はハイブリッドレンズの製造方法を説明する概略図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を実施するための最良の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

(第1の実施形態)

図2は本発明にかかる可変光減衰器11の構造を示す平面図、図3はその光反射側の部材と光入出力用の部材とを分離した状態の斜視図である。この可変光減衰器11は、入力用光ファイバ12（シングルモードファイバ）及び出力用光ファイバ13（シングルモードファイバ）を有するファイバアレイ14と、90度の角度をなして互いに直交する第1のミラー15及び第2のミラー16（いずれもミラ一面精度は、 $\lambda/10$ 以上とする。）を備えたミラー部材17と、ミラー部材17を直線上に移動させるためのアクチュエータ18とから構成されている。

ミラー部材17の正面には、平面視で互いに90度の角度をなして直交する垂直な2つのミラー15、16が形成されている。ミラー部材17は、ガラス、シリコン基板、真鍮などの金属からなっており、ミラー15、16はミラー部材17に一体に形成されていてもよく、ミラー部材17とは別部材のミラー15、16をミラー部材17に貼り付けるようにしてもよい。

例えば、図4（1a）（1b）（1c）は金属プレスによってミラー部材17を製造する方法を示している。図4（1a）における符号28は金属原料板、符号29aはプレス加工用の原盤であって、原盤29aの下面には90度の角度をなす突起が設けられている。この原盤29aを金属原料板28の上面に打ち下ろしてプレスすると、図4（1b）に示すように、原盤29aによって金属原料板28の上面に内面が90度の角度をなす直交溝30が形成される。原盤29aを金属原料板28から分離した後、図4（1c）に示す1点鎖線に沿って金属原料板28をカットして切り出すと、ミラー部材17が得られる。なお、この後、直交溝30内の表面には鏡面研磨を施しても良い。

また、図4（2a）（2b）（2c）は切削加工によってミラー部材17を製造する方法を示している。図4（2a）に示す符号29bは切削用のカッターであって、カッター29bが外周部では両側面が90度の角度をなしている。この

カッター29bで金属原料板28の上面を切削すると、図4(2b)に示すように、カッター29bによって金属原料板28の上面に内面が90度の角度をなす直交溝30が形成される。この後、図4(2c)に示す1点鎖線に沿って金属原料板28をカットして切り出すと、ミラー部材17が得られる。なお、この後、直交溝30内の表面には鏡面研磨を施しても良い。

また、ガラスやシリコン基板によって直交溝を有するミラー部材17を形成した後、直交溝内に金属薄膜を蒸着させてミラー15、16を形成しても良い。あるいは、プラスチック製のミラー部材17の直交溝内に別途製作されたミラー15、16を接着して貼り付けてもよい。また、プリズムレンズを貼り合わせてミラー部材17を構成しても構わない。あるいは、ガラスやプラスチックによって直交溝を有するミラー部材17を形成した後、直交溝の内面、もしくは直交溝を含むミラー部材17の正面全体にミラーコーティングを施しておいてもよい。

アクチュエータ18の具体例は後述するので、ここでは簡単に説明する。アクチュエータ18は、固定部19と可動部20とからなる直動型のアクチュエータであって、可動部20は固定部19に対して図2の矢印方向に往復動することができる。

ファイバアレイ14は、入力用光ファイバ12及び出力用光ファイバ13を保持するホルダー21と、ホルダー21の前面に接着されたレンズアレイ22とかなる。ホルダー21は、図5に示すように、V溝アレイ25aとカバー25bとかなり、V溝アレイ25aの上面には2本のV溝26が形成されている。V溝26内には入力用光ファイバ12の先端部と出力用光ファイバ13の先端部が納められており、上にカバー25bを重ねて接着一体化されている。よって、ホルダー21内において、入力用光ファイバ12及び出力用光ファイバ13はV溝26によって軸心を所定位置に位置合わせされている。ホルダー21の前面に設けられたレンズアレイ22の前面には、微小な出射レンズ23(非球面レンズ)と入射レンズ24(非球面レンズ)が形成されている。このレンズアレイ22は、ホルダー21の前面に配置して両光ファイバ12、13から出射された光を両レンズ23、24を通して出射させることにより、両光ファイバ12、13と両レンズ23、24とを光軸を一致させて調芯した後、接着樹脂によってホルダー

21の前面に接着して固定される。

ミラー部材17の下面は、アクチュエータ18の可動部20の上に接着樹脂などによって固定されており、アクチュエータ18を駆動させることによってミラー部材17が側方向（図2に矢印で示す方法）に微小に移動できるようになっている。ファイバアレイ14は、ミラー部材17の正面に対向するように配置され固定されており、入力用光ファイバ12及び出射レンズ23の光軸はミラー15に対して45度の角度をなし、出力用光ファイバ13及び入射レンズ24の光軸はミラー16に対して45度の角度をなしている。こうして組み立てられた状態においては、ファイバアレイ14の前面とミラー部材17の前端面との間の端面距離は、 $500\mu m$ となり、出射レンズ23から出射されて入射レンズ24に入射するまでの空間光路長は、2mmとなっている。

図6は、上記可変光減衰器11の動作とその作用を説明するための図である。図6(a)は、互いに対向しているミラー部材17の中心とファイバアレイ14の中心とが一致している状態を表わしており、入力用光ファイバ12から出射された光は出射レンズ23によってコリメート光（ビーム径 $100\mu m$ ）に変換され、出射レンズ23から出射された光27はミラー15で反射され、さらにミラー16で反射された後、ほぼ全光束が入射レンズ24に入射し、入射レンズ24で集光された光27が出力用光ファイバ13に入射して外部へ伝搬される。よって、この状態（光軸ずれが最小の状態）では、光減衰量は最小となっている。

図6(b)は、アクチュエータ18によってミラー部材17を白抜き矢印で示す方向（側方向）へ若干移動させた状態を表わしている。この状態では、入力用光ファイバ12から出射された光27は、ミラー15、16で反射された後、その一部だけが出力用光ファイバ13に入射する。よって、この状態では、光減衰量は大きくなっている。

図6(c)は、ミラー部材17を入射レンズ24の半径と等しい距離だけ白抜き矢印の方向へ移動させた状態を表わしている。この状態では、入力用光ファイバ12から出射された光27は、ミラー15、16で反射された後、ほぼ全体が入射レンズ24外へ照射されており、出力用光ファイバ13にはほとんど入射していない。よって、この状態では、光減衰量は最大となる。

本発明の可変光減衰器 11 にあっては、図 6 (a) と図 6 (c) との間での移動範囲においては、ミラー部材 17 を側方向の一方（図 6 の下方）へ動かすことによって光減衰量を大きくでき、反対に側方向の他方（図 6 の上方）へ動かすことによって光減衰量を小さくできるので、アクチュエータ 18 によりミラー部材 17 を移動させてミラー部材 17 の停止位置を精密に制御することにより光減衰量を精密に調整することができる。入力用光ファイバ 12 と出力用光ファイバ 13 との光軸間の距離が 500 μm、ファイバアレイ 14 の前面とミラー部材 17 の前端面との間隔が 500 μm、コリメート光のビーム径が 100 μm、ミラー 15、16 の傾きが光軸に対して 45 度の可変減衰器において、入射レンズ 24 に入射する光の光軸と入射レンズ 24 の光軸との間の光軸ずれと光減衰量との関係を測定した結果を図 7 に示す。なお、図 7 では光減衰量は負値で表わされているが、この光減衰量の絶対値が大きいものを光減衰量が大きいと言うものとする。この測定結果からも分かるように、光軸のずれに伴って出力用光ファイバ 13 に入光する光が減衰していく様子が確認できる。尚、光軸のずれ量に対する光減衰量は、ビーム径、光路長、レンズ 23、24 の形状、ミラー 15、16 の傾きなどの条件によって決まる。

本発明の可変光減衰器は、入力用光ファイバ 12 から出射された光をミラー 15、16 で反射させることで、ある特定の角度に曲げて出射させる光路系において、ミラー部材 17 をスライドさせることで出力用光ファイバ 13 に入射する光ビームの光路をずらし、それによって出力用光ファイバ 13 に入射する光量を減衰させる構造としているので、以下のようない特徴がある。

(1) 構造が単純であり、特に、ミラー部材 17 の前面とファイバアレイ 14 の前面とは、互いに干渉しない限り、いくらでも近づけることができるので、容易に可変光減衰器を小型化することが可能になる。

(2) アクチュエータ 18 によってミラー部材 17 を直線状にスライドさせるだけでよい。ストローク制御は角度制御に比べて容易で、精度良く制御することができる所以である。ミラー部材 17 の移動距離や出力用光ファイバ 13 に入射する光の光軸ずれの精度を得やすく、光減衰量を高い精度で制御することができる。

(3) 連続的に、かつ、無段階に光減衰量を変化させることができる。

(4) シャッタ方式による可変光減衰器のように、回折などが起きず、波長依存性などの不具合が生じない。

(5) 高価な光学素子を使用しないので、低コストで製造することができる。

図8は上記実施形態の変形例を示す分解斜視図であって、図3と同様、ミラー部材17及びアクチュエータ18と、ファイバアレイ14とを分離した状態で示している。この可変光減衰器11にあっては、二等辺直角三角形状をしたガラス又はプラスチック製の三角プリズムによってミラー部材17を構成しており、90度の角度をなして直交している辺面と空気との界面によってミラー15及び16が構成されている。また、三角プリズムの斜面（入力用光ファイバ12、出力用光ファイバ13と対向する面）17aには、誘電体多層膜等からなる無反射（AR）コーティングを施しておくことが望ましい。

しかし、この変形例の可変光減衰器11にあっても、アクチュエータ18によって三角プリズムからなるミラー部材17を直動させることにより、図9(a) (b) (c)に示すようにして光減衰量を調整することができる。すなわち、図9(a)に示すように、ミラー部材17の中心とファイバアレイ14の中心とが一致している状態では、入力用光ファイバ12から出射された光27は出射レンズ23によってコリメート光（ビーム径 $100\mu m$ ）に変換され、ミラー部材17の内部に入射した光27はミラー15で全反射され、さらにミラー16で全反射された後にミラー部材17の外部へ出射され、ほぼ全光束が入射レンズ24に入射し、入射レンズ24で集光された光27が出力用光ファイバ13に入射して外部へ伝搬される。これは、光減衰量が最小の状態である。

図9(b)に示すように、アクチュエータ18によってミラー部材17を白抜き矢印方向（側方向）へ若干移動させると、入力用光ファイバ12から出射された光27は、ミラー部材17内に入射してミラー部材17内でミラー15、16により2回全反射された後、その一部だけが出力用光ファイバ13に入射する。これは、光減衰量が中間の状態である。

図9(c)に示すように、ミラー部材17を入射レンズ24の半径と等しい距離だけ白抜き矢印の方向へ移動させると、入力用光ファイバ12から出射された光27は、ミラー部材17内に入射してミラー部材17内でミラー15、16に

より2回全反射された後、ほぼ全体が入射レンズ24外へ照射される。これは、光減衰量が最大の状態である。

このようにミラー部材17としてプリズムを用いるようにすれば、市販のプリズムを使用することができるので、部品コストを安価にすることができる。

なお、この実施形態では、アクチュエータ18を用いてファイバアレイ14に対してミラー部材17を動かすようにしたが、これとは反対にミラー部材17を静止させてファイバアレイ14をアクチュエータ18で動かすようにしても差し支えない。

(第2の実施形態)

図10は本発明の第2の実施形態による可変光減衰器31を示す平面図である。この可変光減衰器31は、モニター出力機能を備えている。ファイバアレイ14には、シングルモードファイバ（コア径約10μm）からなる入力用光ファイバ12及び出力用光ファイバ13と共に、マルチモードファイバ（コア径約50μm）からなるモニタ用光ファイバ32が保持されており、モニタ用光ファイバ32は出力用光ファイバ13に近接する位置に配置されている。また、レンズアレイ22の前面にはモニタレンズ33が設けられており、モニタレンズ33は入射レンズ24に隣接する位置に配置されている。モニタレンズ33とモニタ用光ファイバ32とは光軸が一致するように調芯されている。その他の構成については、図2に示した第1の実施形態と同じであるので、説明を省略する。

図11は、可変光減衰器31の動作とその作用を説明する図である。図11(a)は、互いに対向しているミラー部材17の中心と入力用光ファイバ12及び出力用光ファイバ13の中間とが一致している状態を表わしており、入力用光ファイバ12から出射された光は出射レンズ23によってコリメート光に変換され、出射レンズ23から出射された光27はミラー15で反射され、さらにミラー16で反射された後、ほぼ全光束が入射レンズ24に入射し、入射レンズ24で集光された光27が出力用光ファイバ13に入射する。よって、この状態（光軸ずれが最小の状態）では、出力用光ファイバ13の受光量は最大となっている。一方、モニタレンズ33には、光27が入射していないので、モニタ用光ファイバ32の受光量は最小となっている。

図11 (b) は、アクチュエータ18によってミラー部材17を白抜き矢印で示す方向（側方向）へ若干移動させた状態を表わしている。この状態では、入力用光ファイバ12から出射された光27は、ミラー15、16で反射された後、その一部だけが出力用光ファイバ13に入射し、また、その光27の一部がモニタ用光ファイバ32に入射する。よって、この状態では、出力用光ファイバ13に入射する光量は減少し、モニタ用光ファイバ32に入射する光量は増加する。

図11 (c) は、ミラー部材17を入射レンズ24の半径と等しい距離だけ白抜き矢印の方向へ移動させた状態を表わしている。この状態では、入力用光ファイバ12から出射された光27は、ミラー15、16で反射された後、ほぼ全体がモニタレンズ33に照射されており、出力用光ファイバ13にはほとんど入射していない。一方、モニタ用光ファイバ32の受光量は最大となる。

本発明の可変光減衰器31にあっては、図11 (a) の状態と図11 (c) の状態との間での移動範囲においては、ミラー部材17を側方向の一方（図11の下方）へ動かすことによって光減衰量を大きくでき、反対に側方向の他方（図11の上方）へ動かすことによって光減衰量を小さくできるので、アクチュエータ18によりミラー部材17を移動させてミラー部材17の停止位置を精密に制御することにより光減衰量を精密に調整することができる。しかも、出力用光ファイバ13による受光量（又は、光減衰量）とモニタ用光ファイバ32による受光量との間には、一定の関係があるので、モニタ用光ファイバ32による受光量をモニター信号として出力されることにより、可変光減衰器31の光減衰量をモニタすることができ、高精度のフィードバックを行える。よって、このモニタ信号をアクチュエータ18へフィードバックすることにより、光減衰量の調整精度をより高くすることができる。

図12は、図7の場合と同様な条件下で測定された、入射レンズ24に入射する光の光軸とレンズ24の光軸との間の光軸ずれと、出力用光ファイバ13での光減衰量及びモニタ用光ファイバ32での光減衰量との関係を表わしている。なお、図12におけるモニタ用光ファイバ32での光減衰量とは、出力用光ファイバ13における最大の受光量を基準として、モニタ用光ファイバ32の受光量から算出した光減衰量である（従って、図12の縦軸は、上方を正の向きにとった

対数目盛の受光量と考えてもよい。)。この測定結果からも分かるように、光軸のずれに伴って出力用光ファイバ13に入光する光が減衰していき、同時にモニタ用光ファイバ32の受光量は増加していく様子が確認でき、出力用光ファイバ13の光減衰量とモニタ用光ファイバ32の受光量との間には一定の関係があり、モニタ用光ファイバ32の受光量を知れば、可変光減衰器31の光減衰量を知ることができる。

入力用光ファイバ12及び出力用光ファイバ13としてはシングルモードファイバを用い、モニタ用光ファイバ32としてはマルチモードファイバを用い、ファイバアレイ14を混合ファイバアレイにしているが、これはモニタの受光感度を上げるためである。通常、通信用の光ファイバとしてはシングルモードファイバが使われており、そのため入力用光ファイバ12及び出力用光ファイバ13としては、シングルモードファイバを用いている。一方、モニタ用光ファイバ32は、通信用に使われるだけでなく、内部で光量測定用にのみ使われるため、マルチモードファイバでも問題ない。しかも、図13(a)(b)に示すように、シングルモードファイバ(コア径約 $10\mu m$)よりもマルチモードファイバ(コア径約 $50\mu m$)の方がコア34の直径が大きいため、広範囲の光を集光できる利点があり、モニタ用に使用する場合には、モニタの受光感度を上げることのできるマルチモードファイバのほうが有効であるからである。

なお、ここではモニタ用光ファイバ32としてマルチモードファイバを用いたが、シングルモードファイバを用いても差し支えない。

(第3の実施形態)

第2の実施形態による可変光減衰器31では、入射レンズ24に入射する光の光軸と入射レンズ24の光軸とが一致すれば、ほぼ全ての光が出力用光ファイバ13に入射し、モニタレンズ33に入射する光の光軸とモニタレンズ33の光軸とが一致すれば、ほぼ全ての光がモニタ用光ファイバ32に入射する。しかし、ファイバアレイ14の前面に入射する光27の光軸が入射レンズ24の光軸にもモニタレンズ33の光軸にも一致していない場合には、図14に示すように、光27の一部は出力用光ファイバ13に入射し、他の一部はモニタ用光ファイバ32に入射するが、残りの一部(図14で斜線を施した領域)はモニタ用光ファイ

バ3 2に入射せず、モニタ感度を低下させている。また、モニタ感度が悪いばかりでなく、この光がファイバアレイの前面を照射することでファイバアレイ14の温度が上がり、可変光減衰器31の温度が高くなるという問題を生じる。

図15は本発明の第3の実施形態による可変光減衰器に用いられるファイバアレイ14の正面図である。この実施形態は、上記のような問題を考慮したものであり、入射レンズとモニタレンズが一体に結合されたハイブリッドレンズ35を用いている。このハイブリッドレンズ35は、図16(c)に示すような形状の入射レンズ24aとモニタレンズ33aを結合一体化したものであり、図16(a)(b)に示すような正面形状と下面形状を有している。まず、入射レンズ24aの形状を説明する。図16(c)に示した入射レンズ24aの内側の輪郭の円37は、コリメート光のビーム断面の半径と等しい半径の円を表わしている（これは、図14に示したような入射レンズ24の外形と同じである。）。また、外側の輪郭の円36は、円37よりも適当に大きな円を表わしており、これが入射レンズ24aの外径となる。円36の中心と円37の中心は一致しており、入射レンズ24aの光軸も当該中心と一致している。入射レンズ24aは、円36を外形とする球面又は非球面レンズから円37の外側の領域を180度の範囲にわたって除去した形状となっている。図16(c)に示すモニタレンズ33aの輪郭の円38は、ビーム断面の半径に比べて充分に大きな円であればよく（厳密には、後述のモニタ集光範囲よりも大きな円である。）、モニタレンズ33aは円38を外形とする球面又は非球面レンズから入射レンズ24aの重なり合う領域を除去した形状となっている。そして、モニタレンズ33aの一部除去された部分に入射レンズ24aの一部が嵌め込まれたような形状となるようにハイブリッドレンズ35が構成されている。なお、図16(b)に示すように出力用光ファイバ13は入射レンズ24aの光軸と一致するように配置され、モニタ用光ファイバ32はモニタレンズ33aの光軸と一致するように配置される。

図17は上記ハイブリッドレンズ35のより詳細な設計例を示している。まず、光ビームのビーム径と等しい半径の円37を描く。この円と外接するようにして光ビームのビーム径と等しい半径の円39を描く。ついで、円39に外接し、かつ、円37の中心を通る垂線（直線40）と円37の交点を通る円41を描く

。さらに、円37と同心円状の大きな円36を描き、円37の外部のうち直線40の片側を除去して入射レンズ24aの形状を決める。また、円39と同心円状の大きな円38を描き、円38から入射レンズ24aと重なる領域を除去してモニタレンズ33aの形状を決める。ついで、円36の中心に光軸を有する球面又は非球面レンズを一部カットして上記のような入射レンズ24aの形状にする。また、円38の中心に光軸を有する球面又は非球面レンズを一部カットして上記のようなモニタレンズ33aの形状にする。円41内の領域から円37の領域を除いた領域はモニタ集光領域42であって、コリメート光の直径が $100\mu\text{m}$ であるとすると、モニタ集光領域42は直径が約 $175\mu\text{m}$ の領域となる。

ハイブリッドレンズ35は、非球面レンズ製造技術を応用して一体構造で製作される。個別に製作した2つのレンズ24、33を貼り合わせても良いが、結合部分で光の損失が生じるので、一体成形することが望ましい。

図18 (a) (b) (c) (d) はハイブリッドレンズ35によるコリメート光の分割推移の様子を説明する図である。図18 (a) に示すように、円37内に光27が入射している場合には、ほとんど全ての光27が入射レンズ24aに入射して入射レンズ24aにより集光され、出力用光ファイバ13に入射する。これに対し、光27がモニタレンズ33a側へ少し移動すると、光27の照射領域が円37からはみ出すので、円37内の光27は入射レンズ24により集光されて出力用光ファイバ13に入射するが、円37からはみ出てモニタ集光領域42に入った光27は全てモニタレンズ33aで集光され、モニタ用光ファイバ32で受光される。さらに光27が大きく移動し、光27の照射領域の大部分が円37からはみ出すと、円37内のわずかな光27が入射レンズ24により集光されて出力用光ファイバ13に入射するが、円37からはみ出てモニタ集光領域42に入っている大部分の光27はモニタレンズ33aで集光され、モニタ用光ファイバ32で受光される。さらに、光27の照射領域が完全に円37からはみ出ると、ほぼ全ての光27がモニタレンズ33aで集光され、モニタ用光ファイバ32で受光される。

これらのいずれの状態においても、入射レンズ24aからはみ出した光（例えば、図17に示した光27）は全てモニタレンズ33aで集光されてモニタ用光

ファイバ3 2で受光され、モニター用に使用されていることが分かる。よって、図14に示したように、入射レンズ2 4でもモニタレンズ3 3でも受光されない光が無くなり、モニタ感度とモニタ精度が向上する。また、可変光減衰器3 1を温度上昇させる原因になつたりするのを防止することもできる。

上記の動作から分かるように、入射レンズ2 4 aとしては、円3 7で表わされる球面又は非球面レンズであればよく、モニタレンズ3 3 aとしては、円4 1で表わされる球面又は非球面レンズから円3 7の部分を除いたものであればよいが、この実施形態では入射レンズ2 4 aを円3 7よりも大きくして、モニタレンズ3 3 aもモニタ集光領域4 2の領域よりも大きくしている。これは、円3 7の領域やモニタ集光領域4 2からはみ出た微弱な光もハイブリッドレンズ3 5によつて集光させ、出力用光ファイバ1 3又はモニタ用光ファイバ3 2へ入射させるようにし、ファイバアレイ1 4などの温度上昇を少しでも減らすためである。

尚、従来の可変光減衰器は、モニタ機能を有していない。そのため、図19に示すように、可変光減衰器4 3の後段に可変光減衰器4 3から出力された光を9 9 : 1に分岐させるスプリッタ4 4を接続し、9 9 %の光を光出力として使用し、1 %の光をモニタ出力として利用している。しかし、このような構成では、光出力がロスするという問題と、モニタ精度が悪いという問題がある。前者の問題は、このような方法では可変光減衰器4 3からの出力を9 9 : 1に分割しているため、スプリッタ4 4からの出力は可変光減衰器4 3からの出力の9 9 %となり、必ず1 %の出力を損失するためである。また、後者の問題は、モニタ出力される光量は可変光減衰器4 3からの出力の1 %のみであり、この1 %の光を使って残りの9 9 %の光を算出しなければならないので、モニタ精度が悪く、フィードバック制御しても、光出力量の補正精度が悪いためである。

これに対し、本発明の第2及び第3の実施形態では、可変光減衰器からの出力は1 0 0 %後段に出力されるので、光出力のロスが少ない。また、可変光減衰器の入力と出力との差がモニタ出力となるので、モニタリング光量（絶対値）が大きくなり、光減衰量を高精度に制御可能になる。特に、ハイブリッドレンズ3 5を用いた第3の実施形態では、光のロスがほとんどないので、より一層高精度に制御可能になる。

(第4の実施形態)

図20は本発明の第4の実施形態を示す概略ブロック図であって、制御回路内蔵可変減衰器45を表わしている。制御回路内蔵可変減衰器45は、アクチュエータ18、ミラー部材17、ファイバアレイ14を備えており、これらによって第3の実施形態のようなモニター機能付きの可変光減衰器が構成されている。制御回路内蔵可変減衰器45は、さらにアクチュエータ18を駆動するための駆動回路46、駆動回路46を通してアクチュエータ18を制御し、ファイバアレイ14に戻るコリメート光の光軸ずれを制御する制御回路47、ファイバアレイ14のモニタ用光ファイバ32から出力されたモニタ光を受光するフォトダイオード(PD)等の受光素子48、受光素子48からの出力信号を増幅して制御回路47にフィードバック信号を入力する増幅回路49を備えている。また、制御回路47は、制御電圧又は制御信号を通じて上位システム50と通信する。

次に、この制御回路内蔵可変減衰器45により光減衰量を調整するための制御動作を説明する。図22はこの制御動作を表わしたフロー図である。光減衰量を調整又は再調整する際には、制御回路47は、まず駆動回路46に制御信号を出力してアクチュエータ18を駆動し、図21(a)に示すように、ファイバアレイ14へ戻ってくる光が全てモニタレンズ33に入射する位置で(あるいは、受光素子48で受光しているモニター光をモニターしながら、モニター光の光量が最大となる位置で)ミラー部材17を停止させる(ステップS1)。このときのモニタ用光ファイバ32の受光量を、光入力の入射光量I1とみなしてメモリに記憶する(ステップS2)。ついで、この入射光量I1の値から、光出力を規格値O1に保つことができる光減衰量を演算する。

次に、制御回路47は、演算された光減衰量となるように駆動回路46に制御信号(制御電圧)を出力し(ステップS3)、駆動回路46を通じてアクチュエータ18でミラー部材17を戻す(ステップS4)。図21(b)に示すように、こうして演算された光減衰量となる位置でミラー部材17が停止すると、出光用光ファイバ13から外れてモニタ用光ファイバ32に入射している光量を受光素子48で測定し(ステップS5)、受光素子48から出力される信号を増幅回路49で増幅してモニター信号として制御回路47へフィードバックさせる。制

御回路47は、このモニター信号からモニター光の光量O2を算出し、さらに出力用光ファイバ13からの出射光量O3 = I1 - O2を演算する。

この出射光量の演算値O3が規格値O1に等しいか否かを判定し（ステップS6）、等しくない場合には、制御回路47は、モニター光の光量O2から演算した出射光量O3と規格値O1とを比較し、出射光量が規格値O1に近づくようにミラーボルト17の位置をフィードバック制御し、出射光量を補正する。

なお、光軸ずれが小さい領域では、モニタ用光ファイバ32の受光量が小さくなるので、光軸ずれがゼロの位置、又はモニタ用光ファイバ32の受光量がゼロになる位置を見い出すのは困難である。このような場合には、モニタ用光ファイバ32の受光量がゼロに近くなる前のモニター光量の変化率と予め記憶させられているデータとに基づいて、モニター光量がゼロになる位置を予測するようすればよい。

（第5の実施形態）

図23は本発明の第5の実施形態を示す概略ブロック図であって、制御回路内蔵可変減衰器145を表わしている。この制御回路内蔵可変減衰器145は、アクチュエータ18、ミラーボルト17、レンズアレイ22、ファイバアレイ14等を備えており、これらによって第3の実施形態のようなモニター機能付きの可変光減衰器が構成されている。制御回路内蔵可変減衰器145は、さらにアクチュエータ18を駆動するための駆動回路46、駆動回路46を通してアクチュエータ18を制御し、ファイバアレイ14に戻るコリメート光の光軸ずれを制御する制御回路47を備えている。制御回路47は、制御電圧又は制御信号を通じて上位システム50と通信する。さらに、制御回路内蔵可変減衰器145は、ファイバアレイ14のモニタ用光ファイバ32から出力されたモニタ光を受光するフォトダイオード(PD)等の受光素子48、入力用光ファイバ12からファイバアレイ14に入射する光の一部を分岐させて取り出す光分岐器147、光分岐器147から分岐された光を受光するフォトダイオード(PD)等の受光素子148、受光素子48、148からのモニター信号を增幅する増幅回路49及び149、演算回路146を備えている。この光分岐器147は、ハーフミラーやスプリッタなどによって構成されている。

次に、この制御回路内蔵可変減衰器145により光減衰量を調整するための制御動作を説明する。図24はこの制御動作を表わしたフロー図である。光分岐器147は、入射光をファイバアレイ14側と受光素子148側とにそれぞれm:nの比率で分岐させるものとする。このとき入力用光ファイバ12に入射する入射光量をI4とすると、光分岐器147から受光素子148へ分岐される光の光量I5は、

$$I_5 = n \cdot I_4 / (m+n)$$

となり、ファイバアレイ14側へ送られて入力用光ファイバ12の先端から出射される光の光量I1は、

$$I_1 = m \cdot I_4 / (m+n) = (m/n) I_5$$

となる。従って、制御回路内蔵可変減衰器145において、入力用光ファイバ12から入射する入射光の一部を光分岐器147で受光素子148側へ分岐させ(S11)、分岐された光の光量I5を受光素子148で計測すれば、演算回路146によってミラーボルト材17に入射する光の入射光量I1が、 $I_1 = (m/n) I_5$ として求められ、求められた入射光量I1の値は制御回路47へ送られる。(S12)。

ついで、制御回路47より、入射光量I1の値から光出力を規格値O1に保つことができる光減衰量を演算する。制御回路47は、演算された光減衰量となるように駆動回路46に制御信号(制御電圧)を出力し(ステップS13)、駆動回路46を通じてアクチュエータ18でミラーボルト材17を移動させる(ステップS14)。こうして演算された光減衰量となる位置でミラーボルト材17が停止すると、モニタ用光ファイバ32に入射している光量O2を受光素子48で測定し(ステップS15)、受光素子48から出力されるモニター信号を演算回路146へフィードバックさせる。演算回路は、受光素子148から受け取っている入射側モニター光の光量I5から入射光量 $I_1 = (m/n) I_5$ を演算すると共に受光素子48から受け取っている出射側モニター光の光量O2から出力用光ファイバ13の出射光量O3=I1-O2を演算する。

この出射光量の演算値O3が規格値O1に等しいか否かを判定し(ステップS16)、等しくない場合には、制御回路47は、モニター光の光量O2から演算

した出射光量O 3と規格値O 1とを比較し、出射光量が規格値O 1に近づくようにミラー部材17の位置をフィードバック制御し、出射光量を補正する。

この実施形態によれば、入射光量I 1を常に監視することができるので、入射光量が変動する場合でもリアルタイムに入射光量I 1を求めて正確に出射光量を規格値O 1と等しくなるように制御することができる。

(第6の実施形態)

図25は本発明の第6の実施形態を示す概略ブロック図であって、定減衰量制御を実現するための制御回路内蔵可変減衰器245を表わしている。この制御回路内蔵可変減衰器245も、アクチュエータ18、ミラー部材17、ファイバアレイ14からなる、第3の実施形態のようなモニター機能付きの可変光減衰器を備えている。制御回路内蔵可変減衰器245は、さらにアクチュエータ18を駆動するための駆動回路46、アクチュエータ18を制御してファイバアレイ14に戻るコリメート光の光軸ずれを制御する制御回路47、ファイバアレイ14のモニタ用光ファイバ32から出力されたモニタ光を受光する受光素子48、受光素子48からの出力信号を増幅して制御回路47にフィードバック信号を入力する増幅回路49を備えている。

次に、この制御回路内蔵可変減衰器45により光減衰量を一定に保つための制御動作を説明する。図26(a) (b)は、この実施形態の制御回路内蔵可変減衰器245により定減衰量制御を行うための原理を説明する図である。前記のようなハイブリッドレンズ35を用いていると、入力用光ファイバ12からミラー部材17へ入射する入射光量I 1と出力用光ファイバ13へ出射する出射光量O 3とモニタ用光ファイバ32で受光されるモニター光量O 2との間には、

$$\text{入射光量 } I_1 = [\text{出射光量 } O_3] + [\text{モニター光量 } O_2]$$

の関係があるので、モニター光量O 2が一定値となるように制御回路内蔵可変減衰器245を制御すれば、

$$[\text{入射光量 } I_1] - [\text{出射光量 } O_3] = \text{一定値} (\text{モニター光量 } O_2)$$

となる。よって、図25に示したような制御回路内蔵可変減衰器245において、受光素子48で受光しているモニター光量O 2が一定になるように制御すれば

、

出射光量O 3 = [入射光量I 1] - [一定減衰量]

となる。すなわち、図26(a)の状態から図26(b)の状態への変化のように入射光量が変動しても、入射光量の変化に拘わらず常に一定の減衰量を伴った出射光量を出力用光ファイバ13から出力させることができる。

図27は図25の制御回路内蔵可変減衰器245において定減衰量制御を行うための手順を説明したフロー図である。このフロー図に従って定減衰量制御を説明すると、まず制御回路47に減衰量の要求値 ΔD が上位システム50等から入力される。減衰量の要求値 ΔD が指定されると、制御回路47はその要求値をモニター光量O2の要求値として記憶する(ステップS21)。ついで、現在のモニター光量O2を受光素子48で測定し(ステップS22)、受光素子48から出力される信号を增幅回路49で増幅してモニター信号として制御回路47へフィードバックさせる。制御回路47は、現在のモニター光量O2を把握すると、そのモニター光量O2が要求値 ΔD に等しくなるように駆動回路46を通じてアクチュエータ18でミラー部材17を移動させる(ステップS23)。

こうしてモニター光量O2が演算された要求値 ΔD と等しくなるようにミラー部材17を制御した後、さらにモニタ用光ファイバ32へ入射しているモニター光量O2を測定する(S24)。そして、測定したモニター光量O2が要求値 ΔD に等しいか否かを判定し(ステップS25)、等しくない場合には、制御回路47は、測定したモニター光量O2とその要求値 ΔD とを比較し、モニター光量O2が要求値 ΔD に近づくようにミラー部材17の位置をフィードバック制御し、モニター光量O2を補正する。

図28は可変光減衰器43を用いて定減衰量制御を行わせるための従来の構成を示す図である。この従来方式においては、可変光減衰器43の前後にそれぞれスプリッタ44a、44bを接続し、可変光減衰器43に入射する光の一部をスプリッタ44aから取り出して受光素子246でモニターし、可変光減衰器43から出射される光の一部をスプリッタ44bから取り出して受光素子247でモニターしている。そして、受光素子246で計測したモニター光量から可変光減衰器43に入射する入射光量を求め、受光素子247で計測したモニター光量から可変光減衰器43から出射する出射光量を求め、この入射光量から出射光量を

減算した差分値を減衰量の要求値 ΔD と比較し、入射光量と出射光量の差分値と減衰量の要求値 ΔD とが等しくない場合には、入射光量と出射光量の差が減衰量の要求値 ΔD に等しくなるように出射光量をフィードバック制御している。

このため従来の方式では、図 1 9 の従来例で説明したのと同様に、光出力がロスするという問題と、モニタ精度が悪いという問題がある。ここで説明した本発明の実施形態によれば、このような問題を解消することができる。

(第 7 の実施形態)

図 2 9 又は図 3 0 は本発明の第 7 の実施形態による可変光減衰器 5 1 の構成を示す概略平面図である。この可変光減衰器 5 1 にあっては、ミラー部材が固定ミラー部材 5 2 と可動ミラー部材 5 3 とによって構成されており、固定ミラー部材 5 2 には入力用光ファイバ 1 2 から出射される光の光軸に対して 45° の傾きを有するミラー 5 4 が形成され、可動ミラー部材 5 3 には、ミラー 5 4 に対して 90° 度の角度をなすように傾いたミラー 5 5 が形成されている。固定ミラー部材 5 2 はファイバアレイ 1 4 に対して静止しているが、可動ミラー部材 5 3 はアクチュエータによりファイバアレイ 1 4 に対して光軸と平行な方向、あるいは直交する方向に直線上に移動できるようになっている。

図 2 9 (a) (b) は、可動ミラー部材 5 3 をファイバアレイ 1 4 の光軸と直交する方向へスライドさせるようにしたものを見ている。図 2 9 (a) は、入力用光ファイバ 1 2 から出射された光 2 7 が、出射レンズ 2 3 でコリメート光に変換された後、ミラー 5 4 及びミラー 5 5 で反射し、すべての光束が入射レンズ 2 4 で集光されて出力用光ファイバ 1 3 に入射している様子を表わしている。図 2 9 (b) に白抜き矢印で示すように、可動ミラー部材 5 3 を側方向に移動させると、入力用光ファイバ 1 2 から出射された光 2 7 は、ミラー 5 4、5 5 で反射された後、その一部だけが入射レンズ 2 4 で集光されて出力用光ファイバ 1 3 に入射する。よって、この状態では、出力用光ファイバ 1 3 に入射する光量は減少する。

また、図 3 0 (a) (b) は、可動ミラー部材 5 3 をファイバアレイ 1 4 の光軸と平行な方向へスライドさせるようにしたものを見ている。図 3 0 (a) は、入力用光ファイバ 1 2 から出射された光 2 7 が、出射レンズ 2 3 でコリメート

光に変換された後、ミラー54及びミラー55で反射し、すべての光束が入射レンズ24で集光されて出力用光ファイバ13に入射している様子を表わしている。図30(b)に白抜き矢印で示すように、可動ミラー部材53を前後方向に移動させると、入力用光ファイバ12から出射された光27は、ミラー54、55で反射された後、その一部だけが入射レンズ24で集光されて出力用光ファイバ13に入射する。よって、この状態でも、出力用光ファイバ13に入射する光量は減少する。

なお、これらの実施形態から分かるように、固定ミラー部材は光の方向を曲げる働きをしているだけであるので、2本の光ファイバを互いに90度の角度を成すようにしてファイバアレイに保持させれば、ミラーは1つだけあればよい（すなわち、固定ミラー部材を省くことができる。）。

(第8の実施形態)

図31は本発明の第8の実施形態による可変光減衰器62の構成を示す概略平面図である。この可変光減衰器62は、互いに90度の角度をなして谷状に対向する2つのミラー57、58を有する固定ミラー部材56と、互いに90度の角度をなして山状に配置された2つのミラー60、61を有する可動ミラー部材59とから構成されており、可動ミラー部材59はミラー57、58間の谷部の奥から直線状に入り出するようになっている。

しかし、図31(a)のように可動ミラー部材59が引っ込んでいる場合には、入力用光ファイバ12から出射され出射レンズ23でコリメート化された光27は、ミラー57及び58で反射された後、全てが入射レンズ24で集光されて出力用光ファイバ13に入射する。図31(b)に示すように、アクチュエータにより可動ミラー部材59をスライドさせて光27の光路に少し突出させると、ミラー57で反射された光の一部がミラー60で遮られ、ミラー60で反射された光27はモニタ用光ファイバ32で集光されてモニタ用光ファイバ32に入射する。一方、出力用光ファイバ13に入射する光量は減少する。さらに、可動ミラー部材59を突出させると、図31(c)のように出力用光ファイバ13に入射する光はさらに減少し、モニタ用光ファイバ32に入射する光量はさらに増加する。アクチュエータで可動ミラー部材59を大きく突出させてミラー57で

反射した光27の光路を完全に遮ると、出力用光ファイバ13には光27が入射しなくなり、ほぼ全ての光がモニタ用光ファイバ32に入射する。

従って、このような構造の可変光減衰器62によってもモニター機能を有する可変光減衰器を実現することができる。

なお、上記実施形態では、可動ミラー部材59の両面にミラー60、61を形成したが、ミラー61は無くてもよい。すなわち、ミラー61の形成されている面はミラーになっていなくてもよく、あるいは、ミラー61の形成されている傾斜面自体があっても、なくともよい。

(アクチュエータの構造)

次に、上記アクチュエータ18、特に自己保持機能を備えたアクチュエータの具体的構成を説明する。図32は、超小型のボイスコイルモータ(VCM)63を用いたアクチュエータである。音叉状に屈曲した継鉄64の上下内面には、それぞれ磁石65、66が取付けられており、磁石65、66間には磁界が発生している。ボイスコイル67は、コイルを環状に巻いて固めたものであり、ボイスコイル67内には一方の磁石65と継鉄64を挿通させてあり、ボイスコイル67は小さな力で磁石65に沿って滑らかに動くようになっている。しかし、ボイスコイル67に電流を流すと、ボイスコイル67に発生するフレミングの力により、ボイスコイル67は電流の向きに応じていずれかの向きに移動する。従つて、何らかの連結部材を用いてボイスコイル67とミラー部材17を連結しておけば、ボイスコイルモータ63によってミラー部材17を直線状にスライドさせることができる。

このような超小型ボイスコイルモータは、光学ピックアップに用いられているものであり、CDやMDなどの用途に用いられているボイスコイルモータ技術を応用して小型で精密に製作される。小型であること、応答性がよいこと、微細な送り(μmオーダー)がされることなどから、ボイスコイルモータはアクチュエータとして有効である。ただし、ボイスコイルモータは、復帰用のスプリングによって元の方向へ付勢されており、電流を流している間だけ推力が働いて変位が得られるため、電流を切っても状態を保持できるようにラッチ機構を付加することが望ましい。

ラッチ機構は、一般的な磁気回路で構成することができる。例えば、図33に示すような（図51も参照）ラッチ機構68を用いることができる。このラッチ機構68は、板バネ69、コイル70、マグネット71から構成されており、湾曲した板バネ69の基端部は保持部74に固定されている。また、板バネ69の先端部内面にはコイル70が取付けられており、コイル70はマグネット71と対向している。可動部72は板バネ69の先端部の下に位置しており、可動部72は板バネ69のバネ応力により先端部で押さえ付けられている。一方、ベース73の上面に立てられた保持部74には、弾性を有するワイヤ75の一端が固定されており、ワイヤ75の他端は可動部72に連結されている。可動部72はワイヤ75の弾性によりベース73から浮き上がるよう付勢されているが、板バネ69により押える力の方が強くなっている。

従って、コイル70に通電していない時には、可動部72は板バネ69の先端によってベース73に押しつけられており、動かないように固定されている。ラッチを解除したい時には、コイル70に電流を流してコイル70とマグネット71の間に電磁吸引力を発生させると、板バネ69の先端部が持ち上がって可動部72がベース73から浮き上がり、可動部72を動かすことができるようになる。よって、可動部72とボイスコイルモータ63のボイスコイル67とを連結しておくことにより、ボイスコイル67にラッチ機構を付加することができる。

なお、板バネ69と可動部72との間、あるいは可動部72とベース73の間にシリコンシートを挟み込んだり、あるいは、各接触部分をシリコンシートで形成しておけば、衝撃を和らげつつ、摩擦による保持力を向上させることができる。

ラッチ機構には、このほかにカムローラを使った方法、油圧を使った方法、形状記憶合金を使った方法など、いかなる方法を用いても差し支えない。保持力、消費電力、実装スペース等を考慮して選択すれば良い。

(別なアクチュエータの構造)

また、アクチュエータは、小型でリニア駆動できるものであれば、特にその方式は問わない。例えば、圧電素子の急速変形を利用した圧電アクチュエータでも

良い。このアクチュエータ76は、図34に示すように、移動物体77とウエイト部79とを圧電素子78を介して連結したものである。このアクチュエータ76を後退させる場合には、図34(a)から図34(b)に示すように、ゆっくりと、圧電素子78を収縮させていく。圧電素子78がゆっくりと収縮しているので、移動物体77は床80との摩擦のために静止したまま移動せず、ウエイト部79だけが後方へ移動する。ついで、図34(c)のように圧電素子78の収縮を急激に停止させると、質量の大きなウエイト部79の慣性のためにアクチュエータ76全体が後方へ移動する。ついで、圧電素子78を急速に伸張させると、質量の大きなウエイト部79は慣性のために移動できないので、移動物体77が後方へ移動させられる。このような図34(a)～(d)のような動作を何度も繰り返すことによりアクチュエータ76は後方へ微小距離ずつ移動していく。また、同様に、アクチュエータ76を前方へ移動させることも可能である。しかも、このようなアクチュエータ76では、圧電素子78を駆動しないときには、任意の位置で静止することができ、ラッチ機構と同様な働きをすることができる。

(さらに別なアクチュエータの構造)

アクチュエータとして超音波リニアモータ81を用いてもよい。図35は超音波リニアモータ81の一部を拡大して示したものである。超音波リニアモータ81は、弾性材料からなるステータ82とステータ82の表面に接触しているスライダ83からなる。超音波リニアモータ81を駆動すると、ステータ82の表面粒子は図に示すように梢円運動をし、これによってステータ82の表面をレーレイ波が伝搬し、ステータ82とスライダ83の間の摩擦によってスライダ83がステータ82の表面に沿って移動させられるものである。よって、このスライダ83にミラー部材17を固定しておけばよい。また、超音波リニアモータ81が駆動されていない場合には、ステータ82とスライダ83との間の摩擦によってスライダ83は動かないので、超音波リニアモータ81はラッチ機構と同様な働きを備えている。

(さらに別なアクチュエータの構造)

アクチュエータとしては、小型カメラや小型ムービー用に使用されるマイクロ

ステッピングモータ技術を応用してもよい。図36に示すアクチュエータは、ステッピングモータ84の回転軸に設けたリードスクリュー85をミラー部材17に設けたナット（雌ネジ孔；図示せず）に挿通させたものである。ミラー部材17が回転しないようにしてあれば、ステッピングモータ84でリードスクリュー85を回転させることにより、ミラー部材17をステッピングモータ84の軸方向に沿って移動させることができる。

また、図37に示すものはステッピングモータ84の回転軸に取付けたウォームギア86を、ステッピングモータ84の回転軸と直交するように配置して軸支されたリードスクリューに噛み合わせたものである。このアクチュエータによれば、ウォームギア86を介してステッピングモータ84でリードスクリュー85を回転させることにより、ミラー部材17をステッピングモータ84の軸方向と直交する方向へ移動させることができる。

（別なラッチ機構の構造）

次に、ボイスコイルモータ等のアクチュエータによりミラー部材17を移動させた後、アクチュエータの電源をオフにしてもミラー部材17をその位置に保持できるようにするためのラッチ機構68の別な実施形態を説明する。

図38は別なラッチ機構68を示す分解斜視図、図39（a）（b）は可動部が下降している時の側面図及び平面図、図40は可動部が上昇しているときの側面図である。このラッチ機構68にあっては、基板111の上面中央部に駆動部112が設置されている。駆動部112は、ケーシング113内の上部においてアマチュア114が軸115で回動自在に支持されており、ケーシング113の上面でアマチュア114が露出している。アマチュア114の一方端部上面には、突起116が設けられている。この駆動部112は、電気信号によってアマチュア114を回転させ、アマチュア114の傾き方向を切り換えられるようになっている。

この駆動部112は、電源オン時には突起116が上方へ突出するようにアマチュア114が傾けられ、電源オフ時には突起116が下方へ引っ込むようにアマチュア114が傾けられる。あるいは、この駆動部112は自己保持型となつていてもよく、その場合には、アマチュア114を動かす場合には電力を必要と

するが、アマチュア 114 を所定角度に動かした後は、電力をオフにしてもアマチュア 114 は自己保持されてその状態に固定される。このような自己保持型の駆動部 112 は、例えば自己保持型電磁リレー（ラッチングリレー）などにおいて接点バネを駆動するために用いられる機構部を用いることができ、内部には通電により励磁されてアマチュアを動かす電磁石や、非通電時にアマチュアをその角度にロックさせるためのラッチ機構などが内蔵されている。ただし、以下においては駆動部 112 は自己保持型でないものとして説明する。

駆動部 112 の後方では、基板 111 の上面にバネ支持部 117 が立設されており、バネ支持部 117 の前面両側部にはそれぞれ複数本の線状バネ 118 の基端部が固定されている。また、駆動部 112 の前方には可動部 119 が配置されており、可動部 119 は複数本の線状バネ 118 の先端部に連結されて線状バネ 118 によって弾性的に支持されている。可動部 119 は、外力が加わっていない場合には、線状バネ 118 の弾性によって基板 111 から浮いた状態で所定の高さに保持される。可動部 119 の正面にはミラー部材 17 が固定される。

駆動部 112 は、線状バネ 118 によって支持されて基板 111 から浮き上がっている状態では、ボイスコイルモータ等のアクチュエータを用いて横方向へ移動させることができるようになっている。可動部 119 の両側部からはそれぞれ、駆動部 112 の両側面へ向けてストップ 120 が突出しており、ストップ 120 が駆動部 112 等に当接することにより可動部 119 の横移動する範囲を制限するようにしている。

バネ支持部 117 の上面には弾性部材 121 が固定されている。弾性部材 121 は、板バネによって略 T 字状に形成されており、基端部の幅が広くなった部分がバネ支持部 117 の上面に固定されている。また、弾性部材 121 の先端部下面には突起 122 が設けられており、弾性部材 121 の先端部及び突起 122 が可動部 119 の上面に対向している。アマチュア 114 の前端部に設けられた突起 116 は、弾性部材 121 の前部下面に対向している。この弾性部材 121 が可動部 119 を押し下げる力は、線状バネ 118 が可動部 119 を持ち上げる力よりも大きくなっており、弾性部材 121 にアマチュア 114 から力が加わっていない状態では、弾性部材 121 は突起 122 によって可動部 119 を押し下げ

、可動部 119 を基板 111 に押し付けて動けないようにロックする。

しかし、図 39 (a) に示すように、駆動部 112 が電源オフでアマチュア 114 が突起 116 の設けられている側で下がっている場合には、可動部 119 は弾性部材 121 によって押し下げられて下降しており、基板 111 に押しつけられてロックされている。

一方、図 40 に示すように、駆動部 112 の電源をオンにしてアマチュア 114 を駆動し、突起 116 の設けられている側を上に突出させた場合には、弾性部材 121 は突起 116 で押し上げられて湾曲し、弾性部材 121 の突起 122 が可動部 119 から離れ、可動部 119 は線状バネ 118 の弾性力によって基板 111 から浮き上がらせられる。この状態においては、アクチュエータによって可動部 119 を横方向に動かすことができるので、ミラー部材 17 を取り付けられた可動部 119 をアクチュエータで動かすことにより光減衰量を自由に調整することができる。

光減衰量が所望の値に調整されたら、駆動部 112 の電源をオフにすると、再びアマチュア 114 が反転して突起 116 が下がる。その結果、可動部 119 が弾性部材 121 の弾性力によって押し下げられて基板 111 に押し付けられ、再びロックされる。よって、このようなラッチ機構 68 を用いれば、アクチュエータによりミラー部材 17 を移動させる場合にだけ駆動部 112 に通電すればよく、ミラー部材 17 を位置調整して可動部 119 をロックした後には駆動部 112 に通電する必要が無く、ラッチ機構 68 を省電力化することができる。

(さらに別なラッチ機構の構造)

図 41 (a) (b) はさらに別なラッチ機構 68 の、可動部 119 が上昇している時の側面図及び平面図、図 40 は可動部 119 が下降しているときの側面図である。この実施形態によるラッチ機構 68 は、図 38 に示した実施形態とほぼ同様な構造を有しているが、アマチュア 114 及び弾性部材 121 の構造は図 38 のものとは異なっている。この実施形態においては、基板 111 の両側端縁に一対の支柱 123 が立てられており、弾性部材 121 の中央部下面に固定された回転軸 124 の両端部が支柱 123 によって回動自在に支持されている。よって、弾性部材 121 は回転軸 124 を中心として回動するようになっている。駆動

部112の上面に露出しているアマチュア114の後端部に突起116が設けられており、この突起116は弾性部材121の後部（回転軸よりも後方）下面に対向している。駆動部112は、電源オフ時には突起116が上に突出するようアマチュア114が傾き、電源オン時には突起116が下方へ引っ込むようにアマチュア114が傾くようになっている。

しかし、駆動部112が電源オフとなっている場合には、図42に示すように、アマチュア114が傾いて突起116の設けられている後部が上方へ突出しているので、突起116によって弾性部材121の後部が上方へ押し上げられ、その反動により弾性部材121の前部に設けられている突起122が可動部119を弾性的に押し下げている。その結果、可動部119は基板111に押しつけられていて、横方向に動けないようロックされている。

これに対し、駆動部112を電源オンにすると、図41(a)に示すように、アマチュア114が反転して突起116の設けられている後部が下がって弾性部材121から離れるので、ミラー部材17を取り付けられている可動部119は線状バネ118によって持ち上げられ、アクチュエータによって横方向へ移動させることができるようになる。

こうしてアクチュエータで119を動かしてミラー部材17の位置を調整した後は、再び駆動部112の電源をオフにすると、突起116が上に上がって弾性部材121の後部を押し上げ、可動部119は基板111に押しつけられる。よって、ミラー部材17の位置調整をされた状態で可動部119は動かないようロックされる。

(さらに別なラッチ機構の構造)

図43(a)(b)はさらに別なラッチ機構68の構造と動作を説明するための側面図である。この実施形態では、以下に説明するように、駆動部112のアマチュア114を板バネなどの弾性体で形成することにより、アマチュア114に弾性部材の機能を持たせたものである。この実施形態で用いられている駆動部112では、アマチュア114の前部をケーシング113の外部まで伸ばし、さらに、アマチュア114を回動させたときにアマチュア114がケーシング113に衝突しないようアマチュア114の前部をステップ状に屈曲させている。そ

して、アマチュア 114 の前端部下面に突起 116 を設け、突起 116 を可動部 119 の上面に対向させている。駆動部 112 は電源オフの状態においては、突起 116 の設けられている前部が下がっており、電源オンにすると、アマチュア 114 が回動して突起 116 の設けられている前部が上方へ上がる。

しかし、駆動部 112 が電源オフとなっている場合には、図 43 (b) に示すように、アマチュア 114 の突起 116 が設けられている前部が下降しており、突起 116 によって可動部 119 が基板 111 に押しつけられてロックされている。これに対し、駆動部 112 の電源をオンにすると、図 43 (a) に示すように、アマチュア 114 が傾いて突起 116 の設けられている前部が可動部 119 の上面よりも上に上がり、可動部 119 は線状バネ 118 によって持ち上げられる。この状態においては、アクチュエータにより可動部 119 を横に動かしてミラー部材 17 で光減衰量を調整することができる。調整後は、駆動部 112 の電源をオフにすると、再び図 43 (b) の状態となり、調整された状態で可動部 119 がロックされる。

(さらに別なラッチ機構の構造)

図 44 (a) (b) はさらに別なラッチ機構 68 の構造と動作を説明するための側面図である。この実施形態によるラッチ機構 68 では、可動部を用いる代わりに、圧電アクチュエータ 125 を使用している。すなわち、この実施形態では、基板 111 の両側端縁に一对の支柱 123 が立てられており、弾性部材 121 の中央部下面に固定された回転軸 124 の両端部が支柱 123 によって回動自在に支持されている。弾性部材 121 の前端部下面に設けられた突起 122 が、線状バネ 118 で支持された可動部 119 の上面に対向している。また、基板 111 の後部上面には、上下に伸縮する圧電アクチュエータ 125 が立てられており、弾性部材 121 の後部下面は圧電アクチュエータ 125 の上面に接合されている。

しかし、圧電アクチュエータ 125 に電圧が印加されていない状態では、図 44 (a) に示すように、弾性部材 121 の後部が押し上げられており、梃子の原理によって弾性部材 121 の前部が下方へ向けて回動させられ、突起 122 が可動部 119 の上面に弾性的に押し付けられる。その結果、可動部 119 は下降

して基板 111 に押しつけられてロックされている。これに対し、圧電アクチュエータ 125 に電圧を印加して圧電アクチュエータ 125 を収縮させると、図 4-4 (b) に示すように、弾性部材 121 の後部が引き下げられ、梃子の原理によって弾性部材 121 の前部が上方へ持ち上げられて突起 122 が可動部 119 の上面から離れる。その結果、可動部 119 は線状バネ 118 によって持ち上げられて上昇し、可動部 119 を横に動かしてミラー部材 17 で光減衰量を調整できるようになる。

(さらに別なラッチ機構の構造)

図 4-5 (a) (b) はさらに別なラッチ機構 68 の構造と動作を説明するための側面図である。この実施形態によるラッチ機構 68 では、可動部を用いる代わりに、電磁石 127 を使用している。すなわち、この実施形態でも、基板 111 の両側端縁に一对の支柱 123 が立てられており、弾性部材 121 の中央部下面に固定された回転軸 124 の両端部が支柱 123 によって回動自在に支持されている。弾性部材 121 の前端部下面に設けられた突起 122 は可動部 119 の上面に対向しており、弾性部材 121 の後端部下面には鉄片などの磁気吸着片 126 が固着されている。また、基板 111 の後部上面には、電磁石（電磁コイル）が立てられており、弾性部材 121 の後部下面に設けられた磁気吸着片 126 は電磁石 127 と対向している。また、弾性部材 121 の前部下面と基板 111 の上面との間には、圧縮バネ 128 が張られており、弾性部材 121 の前部は圧縮バネ 128 によって下方へ引き下げられるように付勢されている。

しかし、図 4-5 (a) に示すように、電磁石 127 を消磁している場合には、弾性部材 121 の前部が圧縮バネ 128 の弾性力によって下方へ引き下げられるので、突起 122 が可動部 119 の上面に押し付けられる。その結果、可動部 119 は下降して基板 111 に押しつけられてロックされている。これに対し、図 4-5 (b) に示すように、電磁石 127 を励磁すると、弾性部材 121 の後端面に設けられた磁気吸着片 126 が圧縮バネ 128 の弾性力に抗して電磁石 127 に吸着されるので、梃子の原理によって弾性部材 121 の前部が上方へ持ち上げられて突起 122 が可動部 119 の上面から離れる。その結果、可動部 119 は線状バネ 118 によって持ち上げられて上昇する。よって、アクチュエータに

より可動部 119 を横に移動させることにより、ミラー部材 17 で光減衰量を調整することができる。

(具体的製品)

図 46～図 48 は可変光減衰器の具体的製品の組み立て手順を表わしている。組み立てにあたっては、基板 98 の上にファイバアレイ固定部 88、アクチュエータ 18 や必要に応じてラッチ機構 89 を実装しておく。ついで、図 46 に示すように、アクチュエータ 18 にミラー部材 17 を取付けて固定する。ついで、図 47 に示すように、ファイバアレイ固定部 88 にファイバアレイ 14 を取付け、入力用光ファイバ 12 から光を出射させながら調芯を行い、ファイバアレイ 14 の位置が定まつたらファイバアレイ 14 をファイバアレイ固定部 88 に固定する。この後、図 48 に示すように、ファイバアレイ 14 やミラー部材 17、アクチュエータ 18 等を実装された基板 98 をパッケージ 90 内に納める。

図 49 は具体的な製品形態の一例を表わしている。これは制御回路を含まない構成例である。パッケージ 90 内にはアクチュエータ 18 が固定されており、アクチュエータ 18 にはミラー部材 17 が取付けられている。ミラー部材 17 に対向させてファイバアレイ固定部 88 にファイバアレイ 14 が取付けられている。ファイバアレイ 14 の光ファイバ 91（入力用光ファイバ 12、出力用光ファイバ 13 など）はコネクタ 92 及びカバー 93 を通してパッケージ 90 の外部へ引き出されている。また、パッケージ 90 内には、アクチュエータ 18 の駆動回路 46 が納められている。

図 50 は制御回路を含んだ具体的構成例である。この例では、図 49 の構成要素に加えて、モニター用の受光素子 48、增幅回路 49、制御回路 47 もパッケージ 90 内に納められている。

図 51 は、図 49 の構成をより具体化したものと示している。すなわち、アクチュエータ 18 としては、ボイスコイルモータ 94 を用いている。すなわち、ベース 87 に固定されたマグネット 95 に対してボイスコイル 96 が対向しており、ボイスコイル 96 は可動部 72 に固定されている。また、ミラー部材 17 も可動部 72 に固定されている。ラッチ機構としては、図 33 に示したような構造のラッチ機構 68 を用いているが、図 51 では保持部 74 とワイヤ 75 と可動部 7

2だけを示しており、板バネ69、コイル70、マグネット71は省略している。保持部74に基端部を保持されているワイヤ75は弾性を有しており、その先端部に取付けられている可動部72を上方へ浮き上がらせている。また、可動部72はワイヤ75に沿って摺動可能となっている。

しかし、ミラー部材17を動かないようラッチする時には、板バネ69が可動部72をベース87に押さえ付けている。ミラー部材17を動かす場合には、コイル70を励磁して板バネ69の先端を持ち上げると（図33参照）、ワイヤ75によって可動部72がベース87から浮き上がり、ボイスコイル96はマグネット95と対向する。ついで、ボイスコイル96を励磁すると、可動部72と共にボイスコイル96がスライドし、ミラー部材17が位置調整される。

図52も図49の構成をより具体化したものであって、ステッピングモータ84やリードスクリュー85、ウォームギア86などからなる図37のような構造のアクチュエータを用いている。ただし、ウォームギア86を介してリードスクリュー85を回転させることでステージ99をリードスクリュー85に沿って移動させるようにし、ステージ99の上にミラー部材17を固定している。また、ステージ99にガイドピン97を挿通させることによってステージ99をガイドし、スムーズにステージ99が移動できるようにしている。

次に、可変光減衰器の特殊な使用方法を説明する。図53は可変光減衰器100の光減衰量を0%と100%の2値とすることによってオン／オフ用スイッチとして使用できるようにしたものである。この可変光減衰器100は、図3等に示した第1の実施形態による可変光減衰器11と同じ構造を有するものであるが、ミラー部材17がアクチュエータ18によって図53（a）に示すように全光束が入射レンズ24に入射している状態と、図53（b）に示すように全光束が入射レンズ24から外れている状態との間を一気に移動するようになっており、中間の状態で止まらないようになっている。例えば、反転バネのような機構を付加してもよい。このような可変光減衰器100は光減衰量が2値の特殊な可変光減衰器と考えることができ、オン／オフ用スイッチとして用いることができる。

図54は出力用光ファイバを2本平行に設けた可変光減衰器101であって、可変スプリッタとして用いることができるものである。すなわち、ファイバアレ

イ 1 4 の出力側には、2本の出力用光ファイバ 1 3 a、1 3 b が互いに平行に保持されており、両出力用光ファイバ 1 3 a、1 3 b の端面に対向させてそれぞれ入射レンズ 2 4 を設けている。しかし、ミラー部材 1 7 が図 5 4 (a) の位置にある場合には、入力用光ファイバ 1 2 から出射された光は 100% 出力用光ファイバ 1 3 a に入射し、ミラー部材 1 7 が図 5 4 (b) の位置にある場合には、入力用光ファイバ 1 2 から出射された光はミラー部材 1 7 の位置に応じた割合で出力用光ファイバ 1 3 a と出力用光ファイバ 1 3 b に入射し、ミラー部材 1 7 が図 5 4 (c) の位置にある場合には、入力用光ファイバ 1 2 から出射された光は 100% 出力用光ファイバ 1 3 b に入射する。従って、この可変光減衰器 1 0 1 は、ミラー部材 1 7 をスライドさせることによって出力用光ファイバ 1 3 a と出力用光ファイバ 1 3 b の分割比率を任意に変えることができ、可変スプリッタとして使用することができる。

図 5 5 (a) (b) (c) は、前記ハイブリッドレンズ 3 5 の製造方法を説明する概略図である。これは、いわゆる 2 P (Photo-Polymerization) 法と言われるものであって、紫外線硬化樹脂を用いてレンズを成形する。まず、図 5 5 (a) に示すように、シリンジなどによってガラス基板 1 0 2 の上に紫外線硬化樹脂 1 0 3 を定量滴下する。ついで、紫外線硬化樹脂 1 0 3 の上からガラス基板 1 0 2 の上にスタンパ 1 0 4 を重ねる。スタンパ 1 0 4 の下面には、ハイブリッドレンズ 3 5 の反転した形状を有する凹型 1 0 5 が予め設けられている。ついで、スタンパ 1 0 4 をガラス基板 1 0 2 に押しつけることによって紫外線硬化樹脂 1 0 3 をスタンパ 1 0 4 の凹型 1 0 5 内に押し広げる。この後、図 5 5 (b) に示すように、ガラス基板 1 0 2 を通して紫外線硬化樹脂 1 0 3 に紫外線を照射し、紫外線硬化樹脂 1 0 3 を硬化させることによってハイブリッドレンズ 3 5 を成形する。ガラス基板 1 0 2 からスタンパ 1 0 4 を剥離させると、ガラス基板 1 0 2 の上面には紫外線硬化樹脂 1 0 3 によってハイブリッドレンズ 3 5 全体が一体に成形されている。なお、ここではハイブリッドレンズ 3 5 の成形についてのみ述べたが、出射レンズ 2 3 や入射レンズ 2 4 も同様にしてハイブリッドレンズ 3 5 と一緒に成形される。これによってレンズアレイ 2 2 が製造される。

上記スタンパ 1 0 4 を製作するには、例えばレーザー加工によってハイブリッ

ドレンズ35と同じ形状を有する原型を作製した後、電鋳法等によって原型の上にN_iなどを堆積させて反転型を製作する。原型から剥離された反転型には、スタンパ104の凹型105と同じ凹型パターンが形成されている。ついで、反転型から原型の複製を制作し、さらに、この複製からスタンパ104を製作する。

なお、上記実施形態の説明中で記載した数値は一例であって、本発明は、上記のような数値に限定されるものではない。また、上記実施形態では、光伝送路として光ファイバを用いたが、光導波路を用いても差し支えない。

これまで説明したような本発明の可変光減衰器によれば、入力用光伝送路から出射された光を反射させる光反射面をアクチュエータによって直動させることにより、出力用光伝送路に入射する光の光軸を出力用光伝送路に相対的に移動させることができ、それによって光減衰量を変化させることができる。従って、入力用光伝送路から出射された光を反射させる光反射面をアクチュエータによって直動させるだけの簡単な構造であるため、可変減衰器を小型化することが可能になる。また、光反射面を直動させるだけであるので、光反射面の移動時のバラツキが光減衰率に敏感に応答することなく、光減衰量を精度良く制御することができる。

よって、本発明によれば、簡単な構造によって光の光減衰量を制御することができ、したがって安価に可変光減衰器を製造することができる。

産業上の利用可能性

例えば、比較的短距離の光伝送用や家庭用機器どうしを光ファイバで結んでデータや信号を伝送する用途などに用いることができる。

請求の範囲

1. 入力用光伝送路から入射した光を減衰させて出力用光伝送路へ出力させると共にその光減衰量を調整可能な可変光減衰器において、

前記入力用光伝送路と、前記出力用光伝送路と、前記入力用光伝送路から出射された光を前記出力用伝送路に向けて反射させる光反射面と、前記光反射面の全体又は一部を、前記入力用光伝送路又は前記出力用伝送路のうち少なくとも一方に対して相対的かつ直線状に移動させるアクチュエータとを備えた可変光減衰器。

2. 前記アクチュエータは、前記出射用光伝送路に向けて反射される光の光軸が前記出射用光伝送路の軸心に対して変位するように、前記光反射面の少なくとも一部、前記入力用光伝送路又は前記出力用光伝送路のうちいずれかを直線状に移動させることを特徴とする、請求項1に記載の可変光減衰器。

3. 前記入力用伝送路から出射されて前記出力用光伝送路に入射しない光を受光するモニター部を備えた、請求項1に記載の可変光減衰器。

4. 前記出力用光伝送路の光入射面に対向させて配置された入射レンズと、前記モニター部の光入射面に対向させて配置されたモニターレンズとを一体化した、請求項3に記載の可変光減衰器。

5. 前記モニター部からの出力に応じて、前記光反射面の位置を補正する機能を備えた、請求項3に記載の可変光減衰器。

6. 前記アクチュエータは、ボイスコイルモータとラッチ機構によって構成されている、請求項1に記載の可変光減衰器。

7. 90度の角度をなす2つの前記光反射面を備えたミラー部材と、前記ミラー部材を直線状に移動させる前記アクチュエータとを備えた、請求項1に記載の可変光減衰器。
8. 前記入力用光伝送路と前記出力用光伝送路を平行に並べて保持するファイバアレイを備えた、請求項1に記載の可変光減衰器。
9. 前記光反射面は、屈折率の異なる透明媒質の境界面によって形成され、光を全反射させるものであることを特徴とする、請求項1に記載の可変光減衰器。

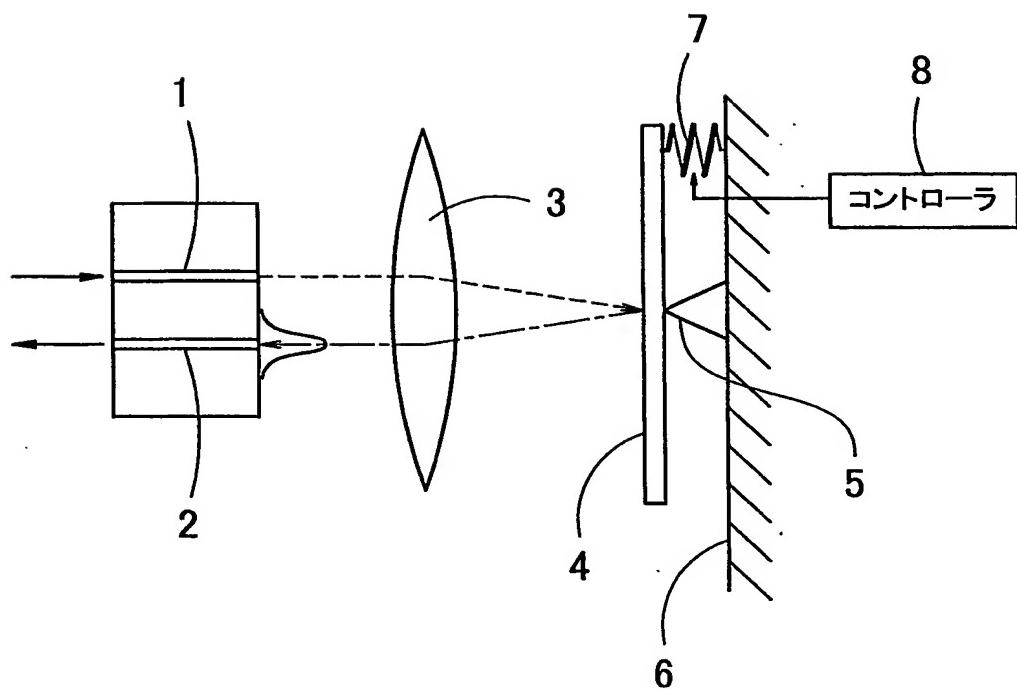


FIG.1

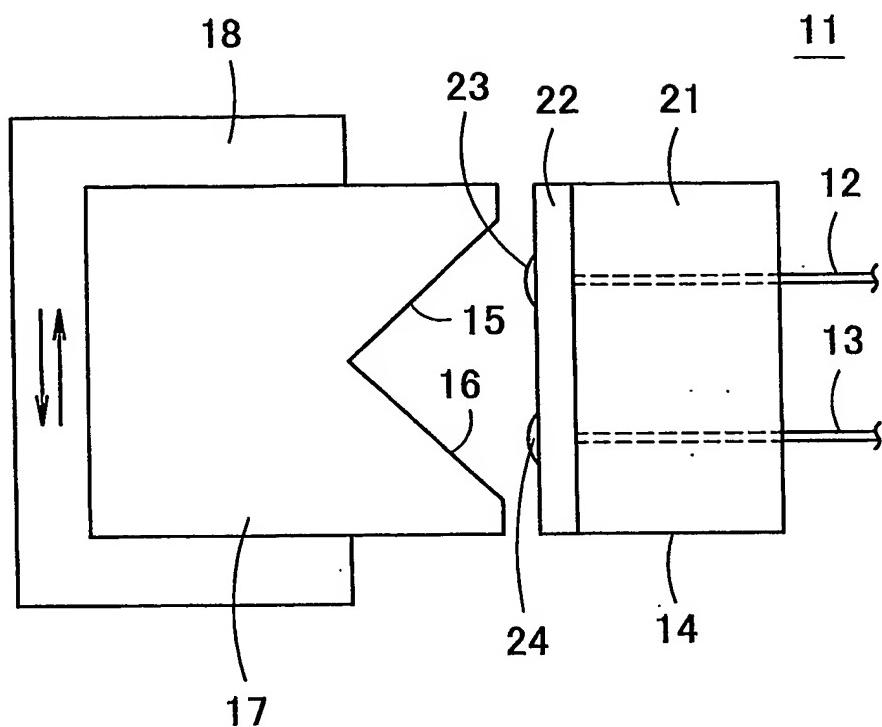


FIG.2

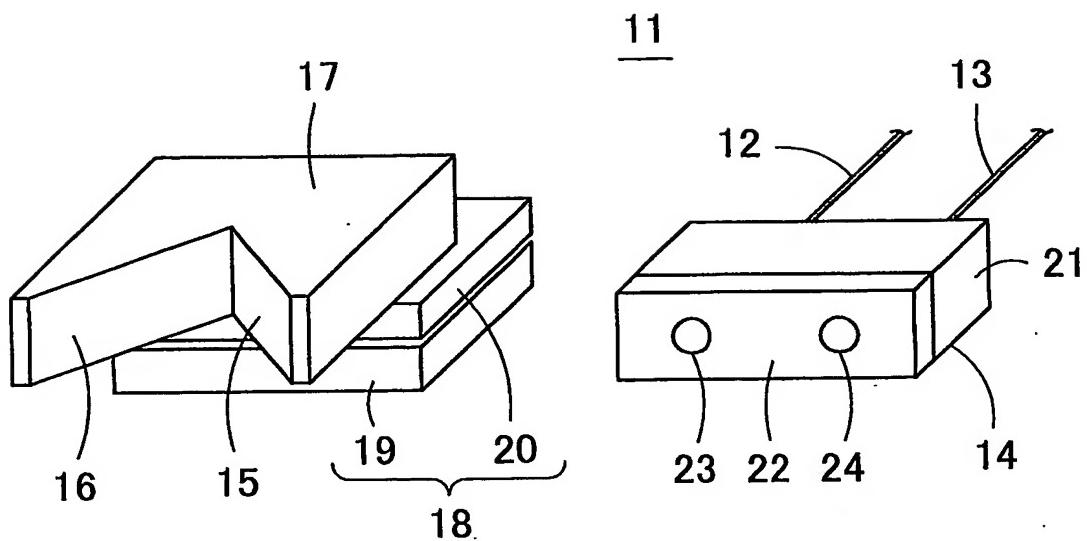


FIG.3

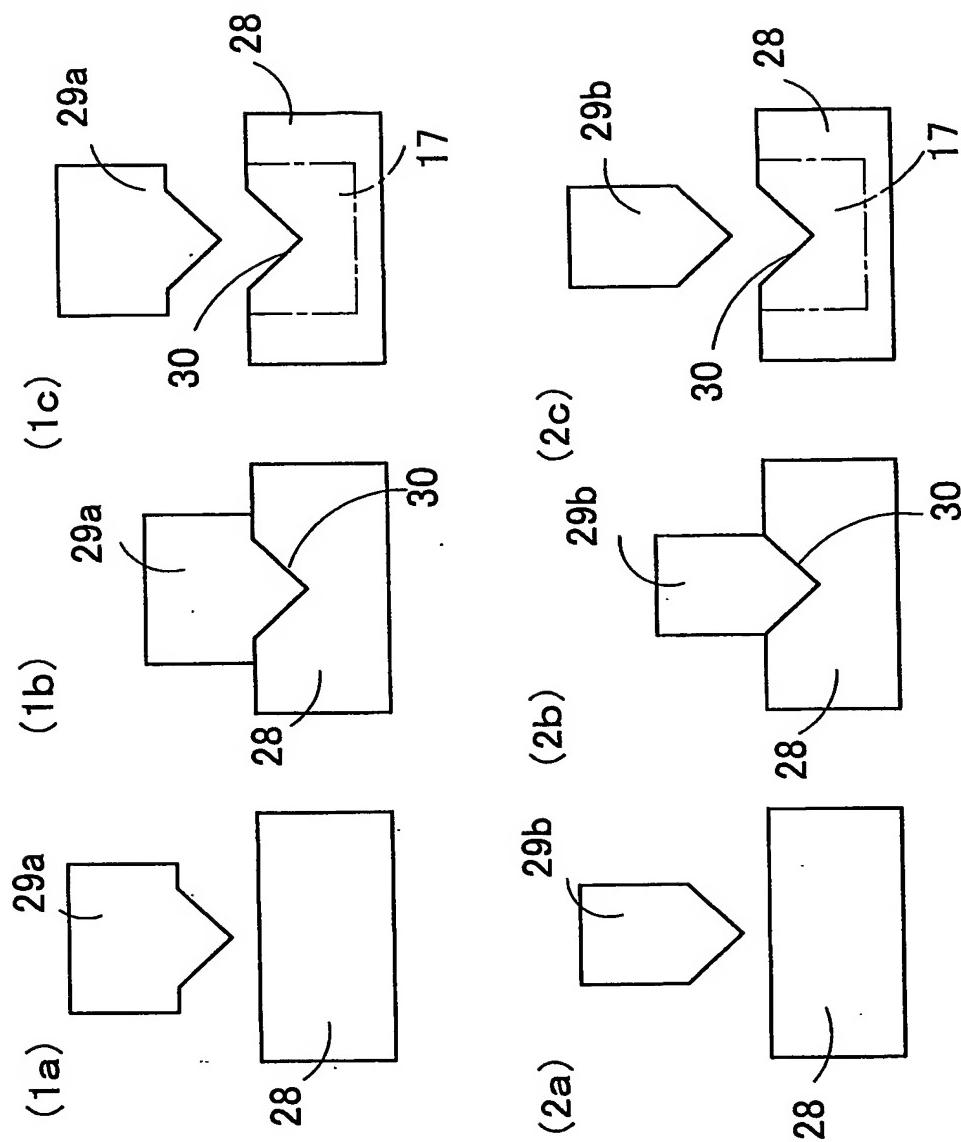


FIG.4

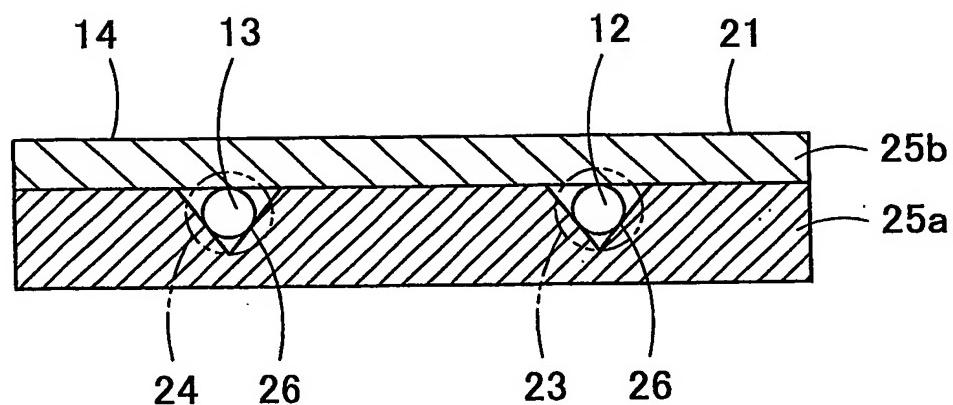


FIG.5

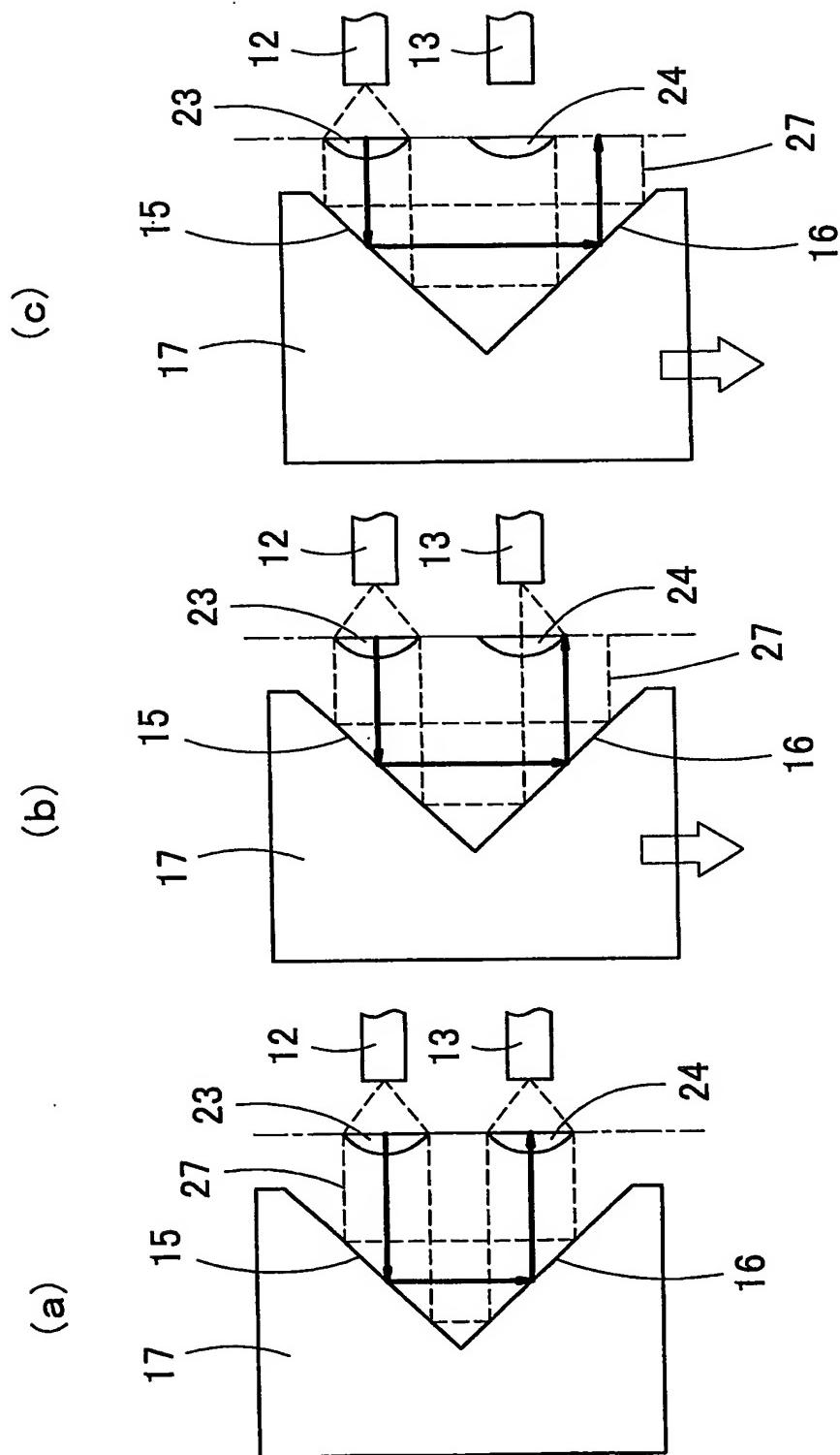


FIG.6

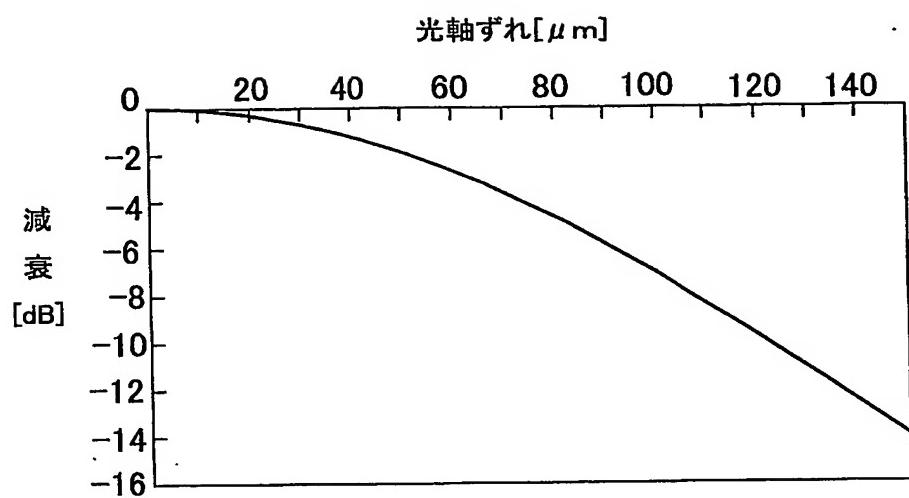


FIG.7

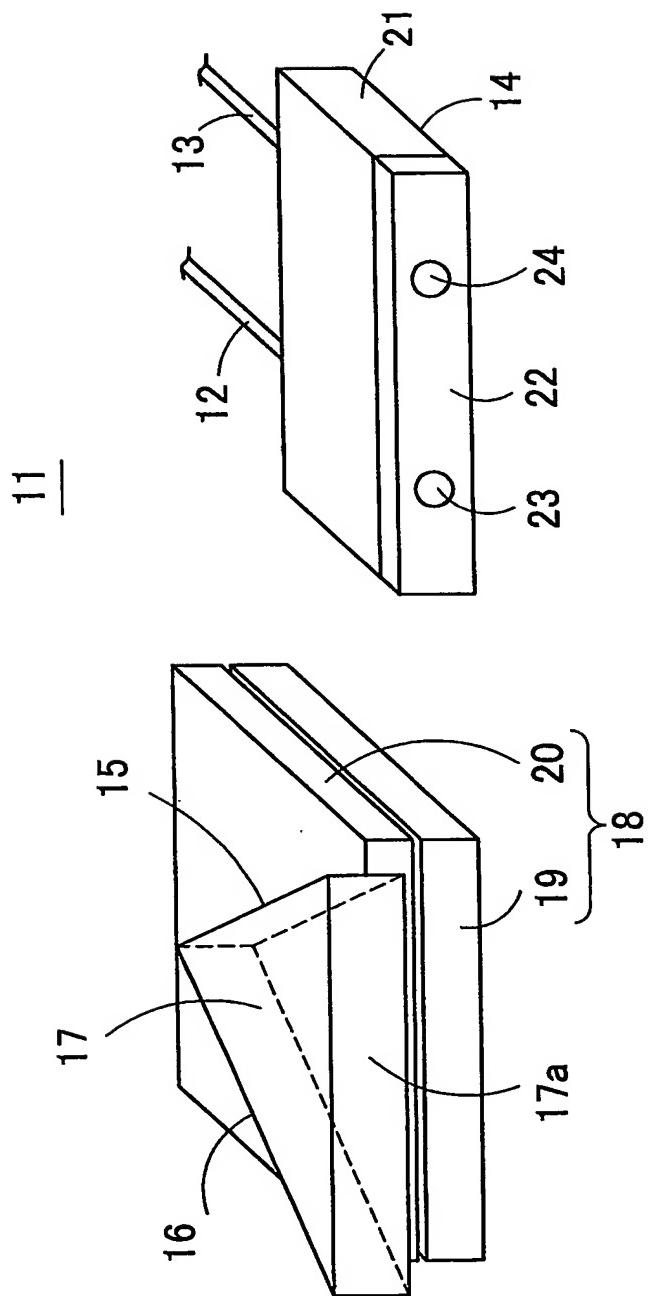


FIG.8

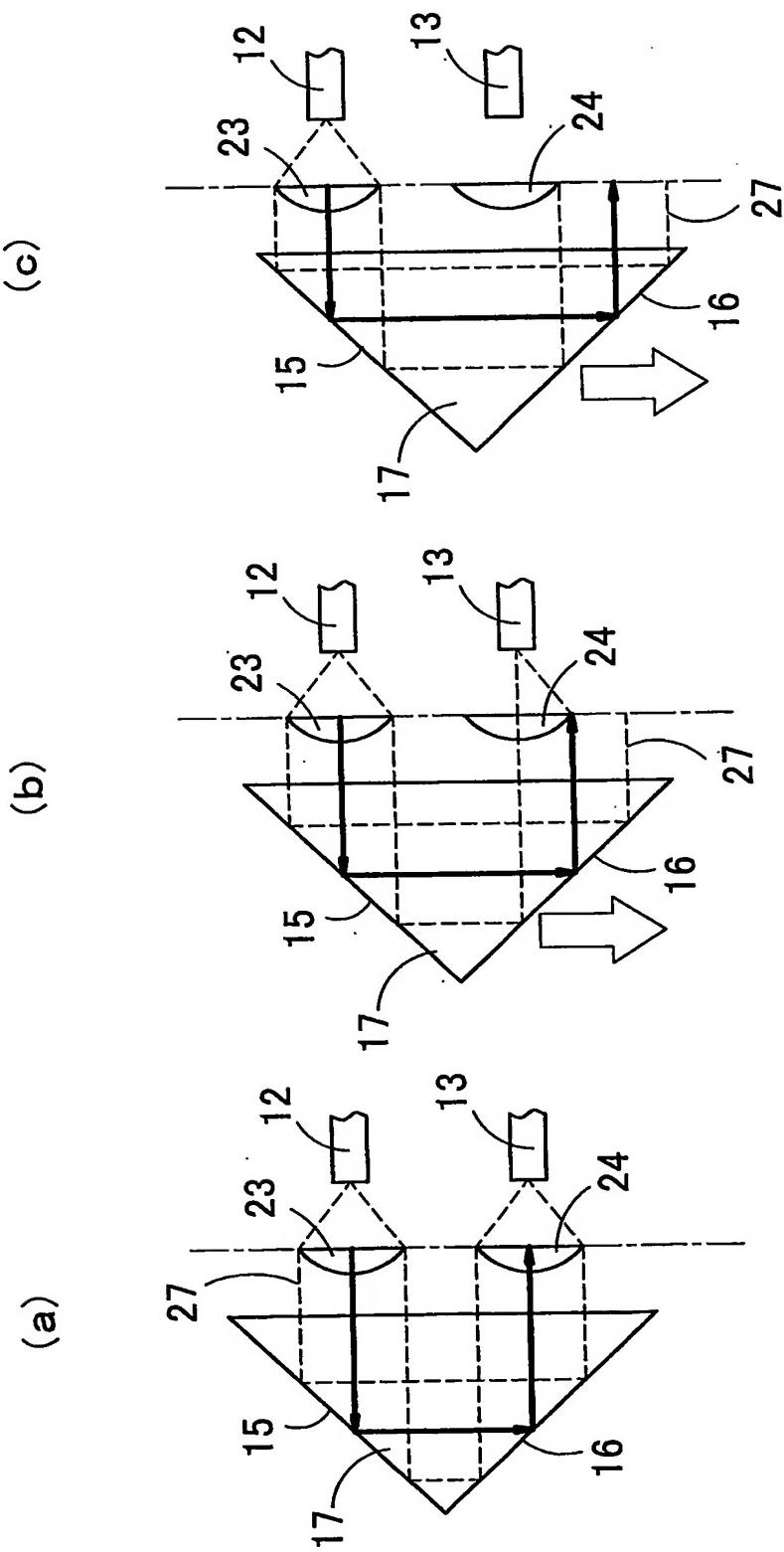


FIG.9

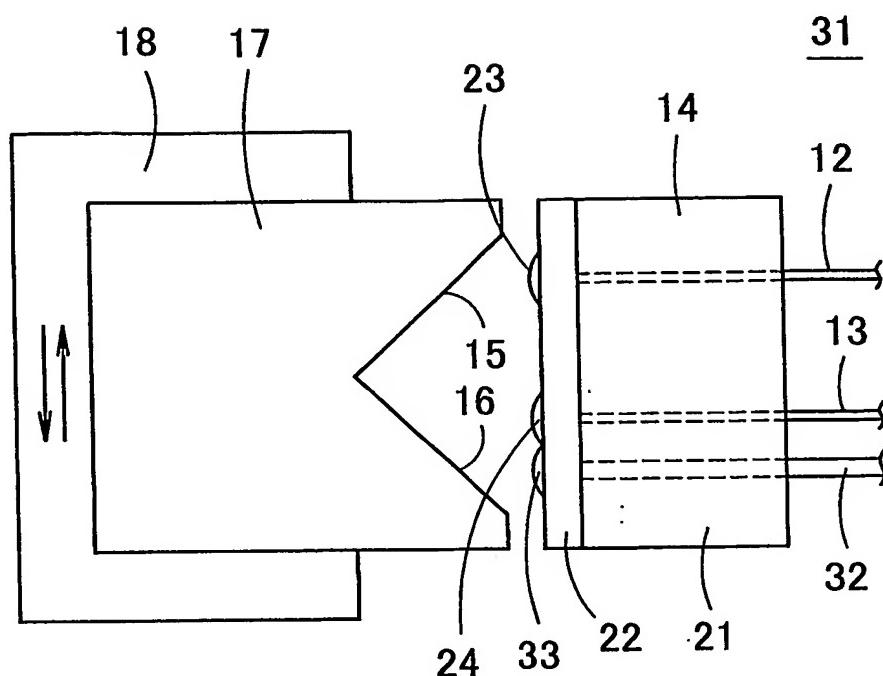


FIG.10

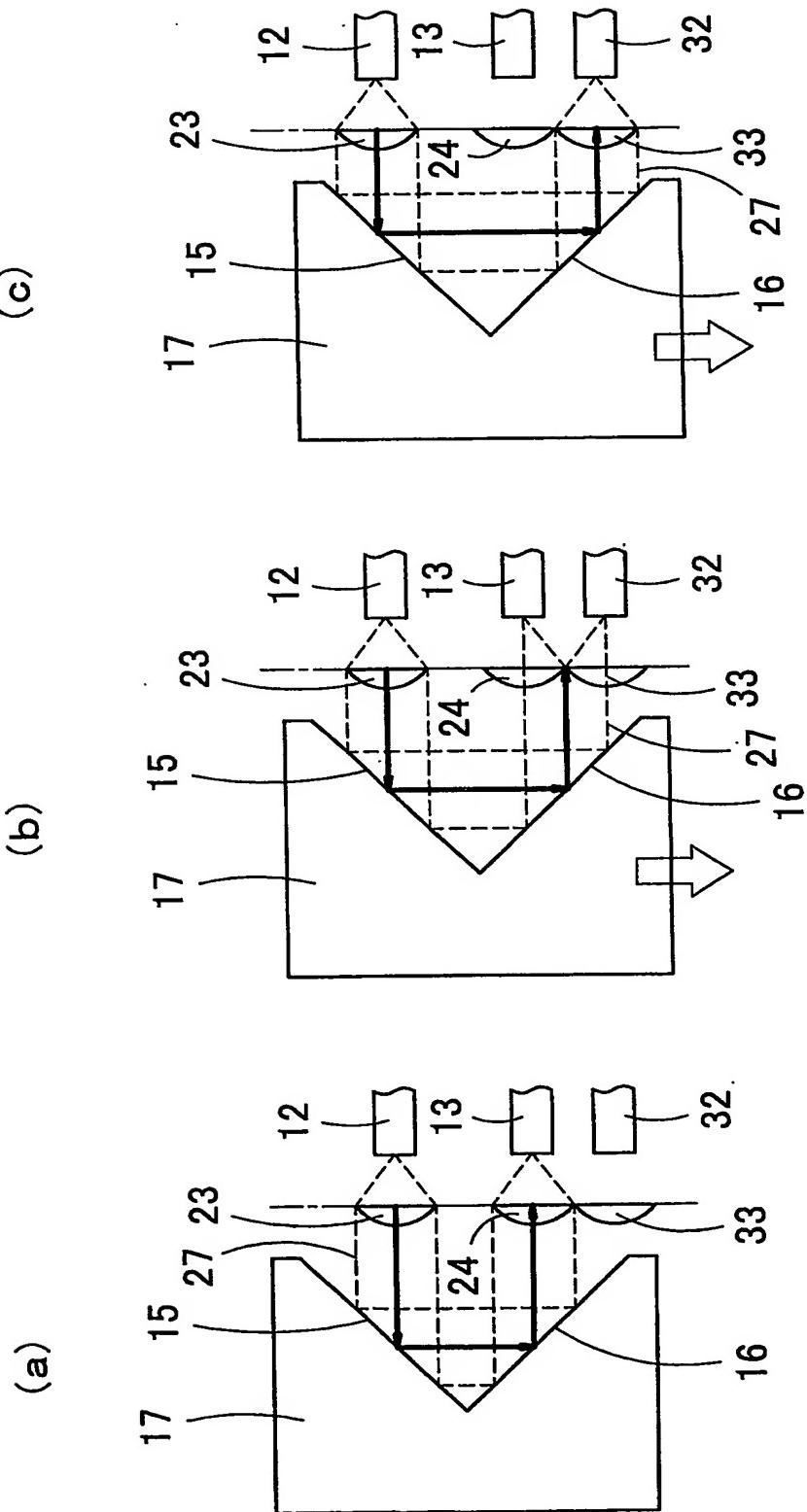


FIG.11

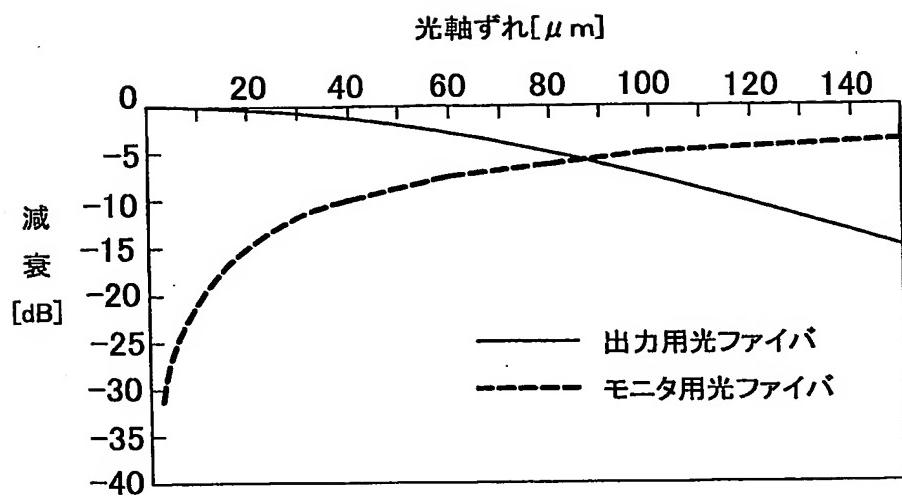
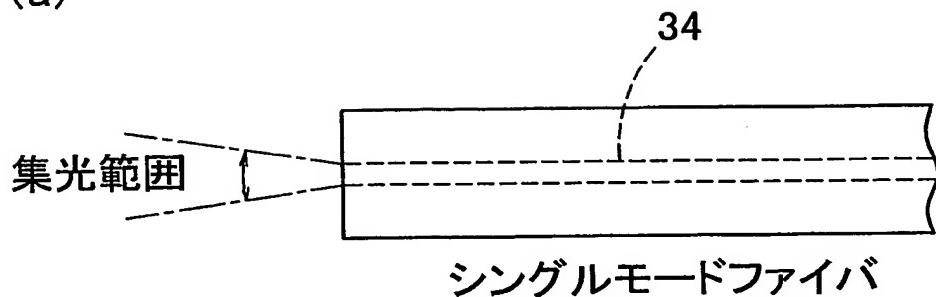


FIG.12

(a)



(b)

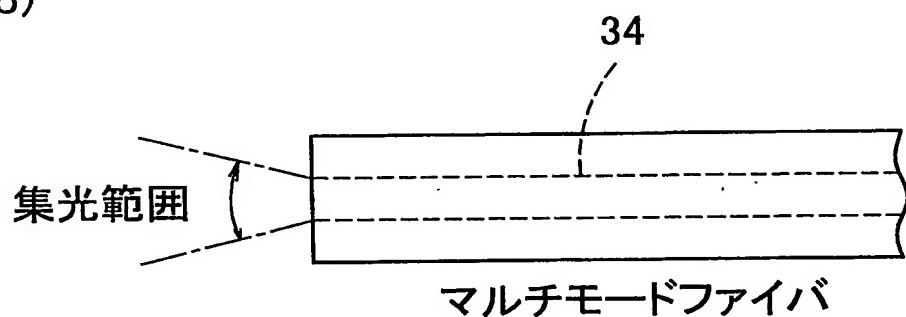


FIG.13

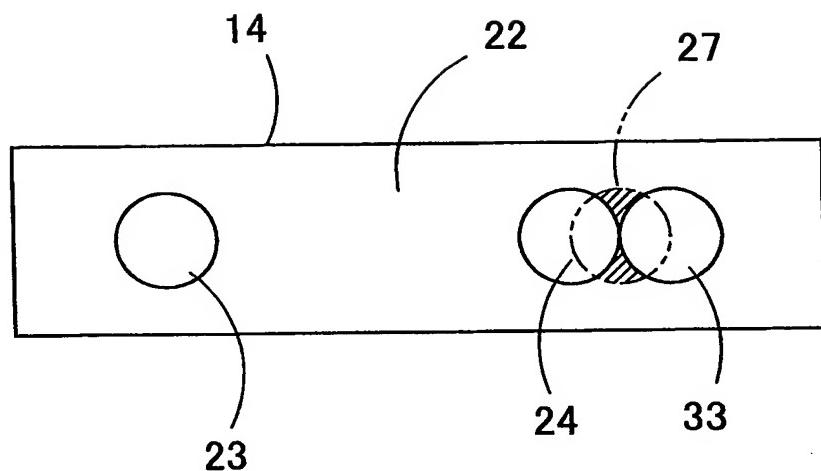


FIG.14

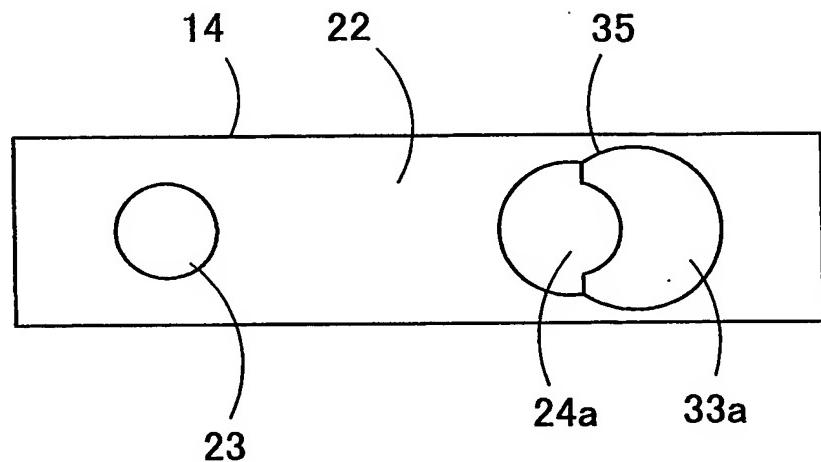


FIG.15

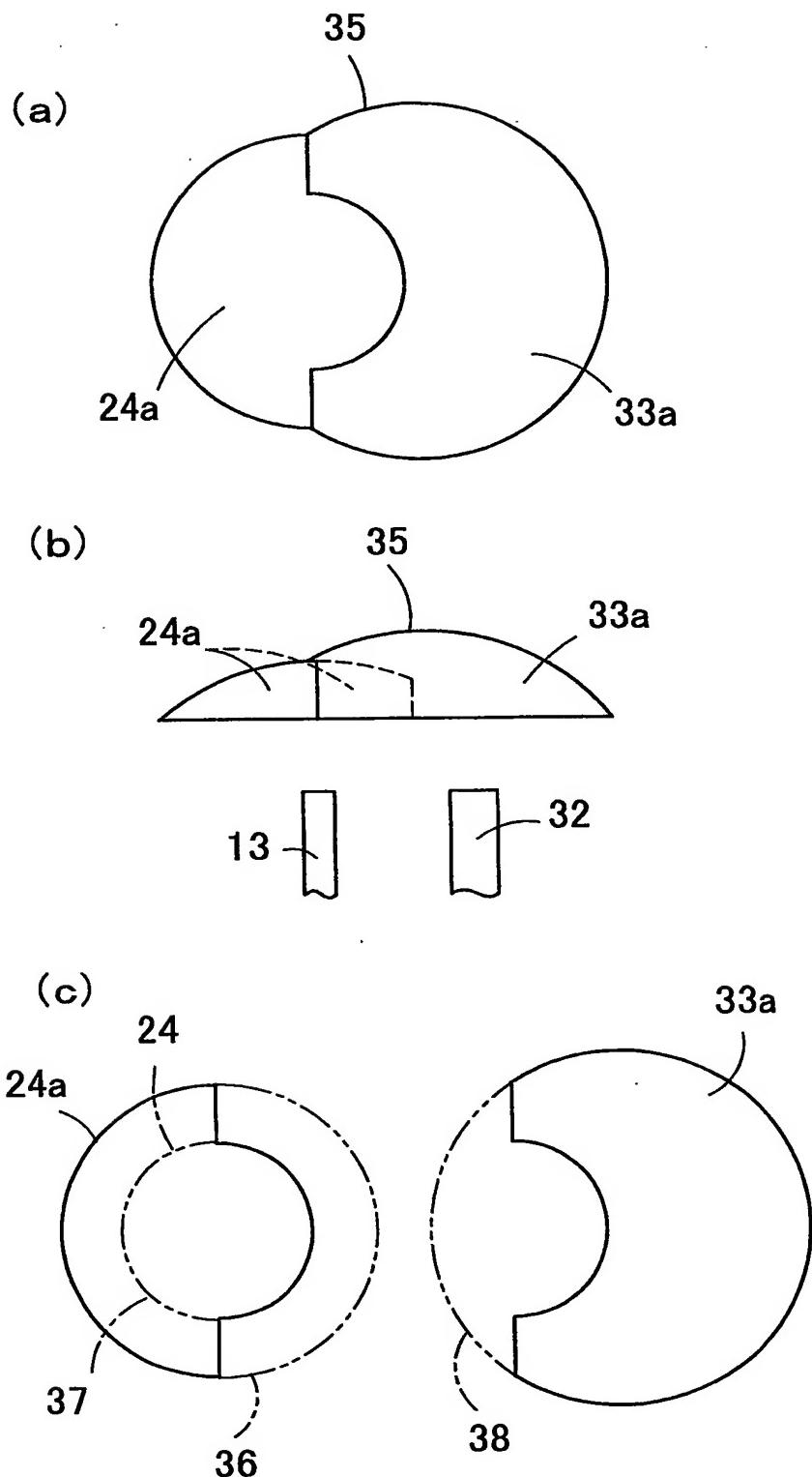


FIG.16

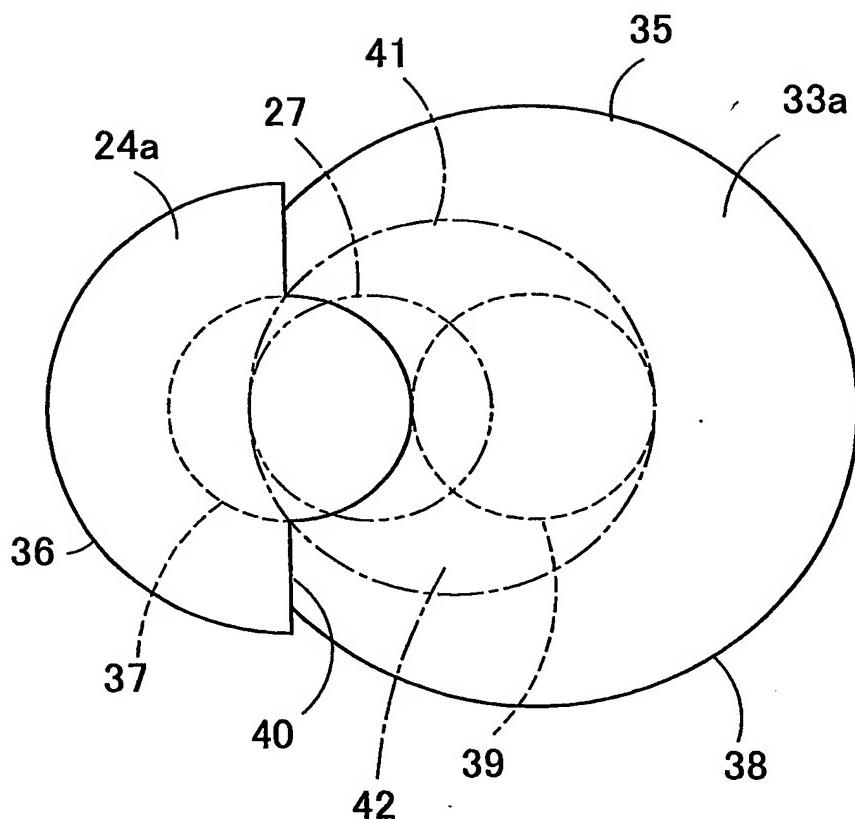


FIG.17

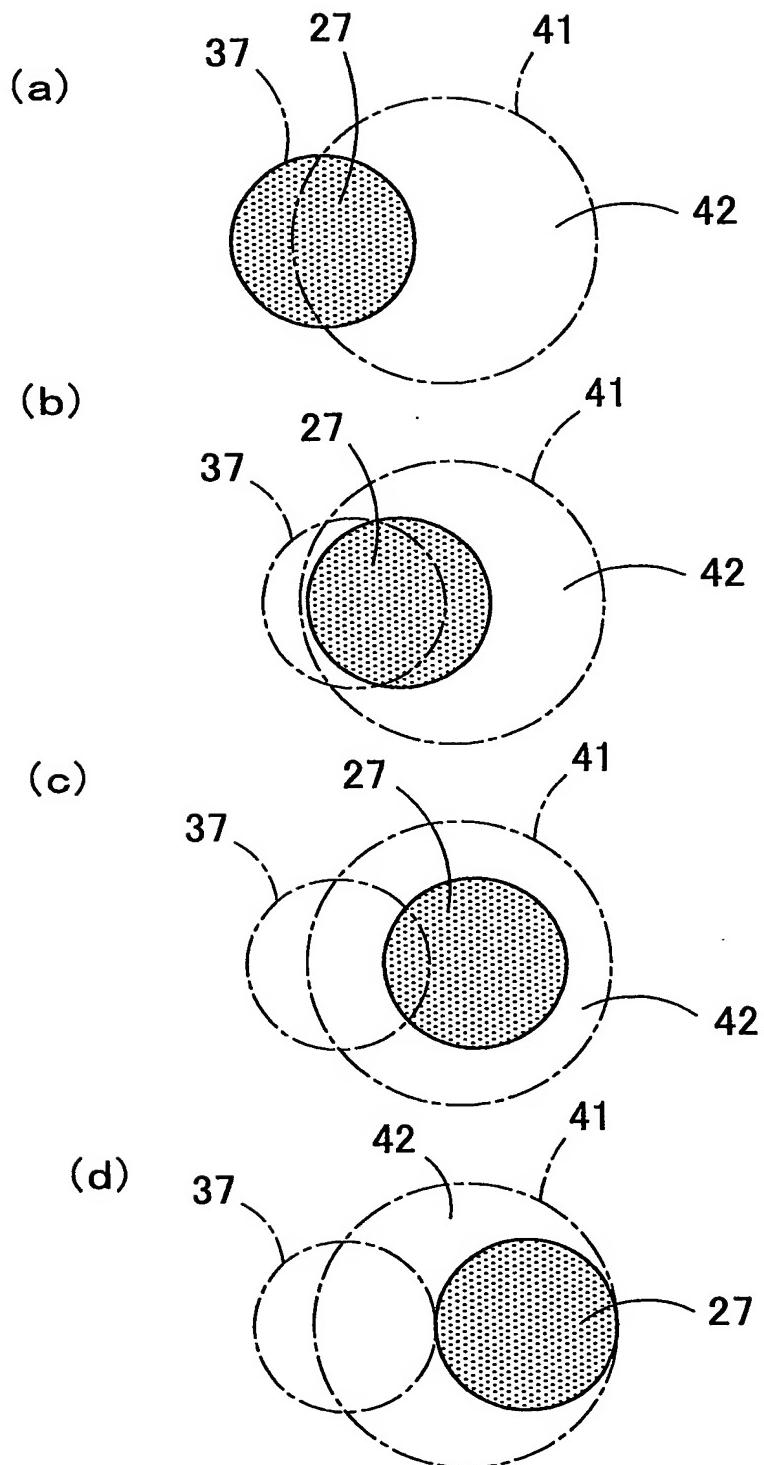


FIG.18

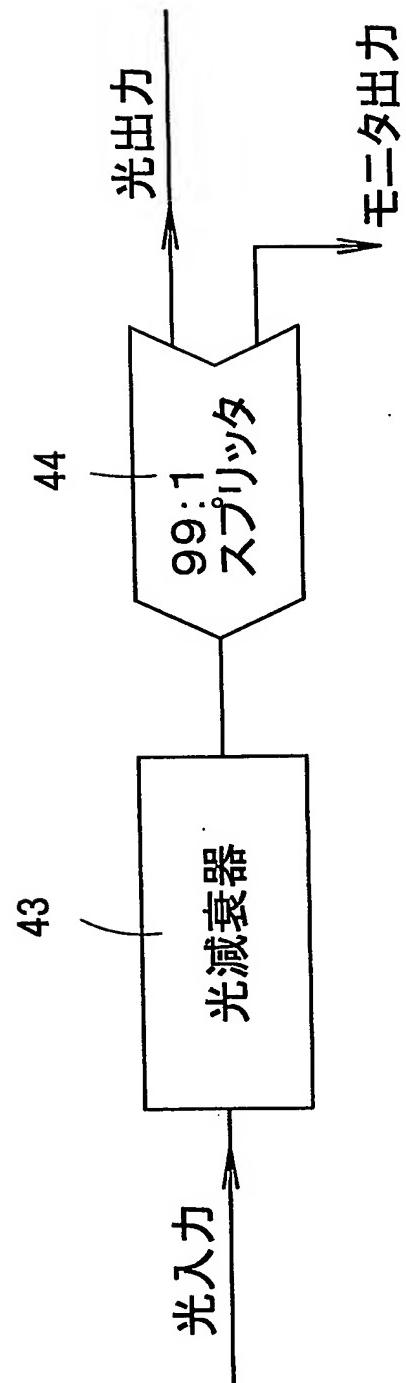


FIG.19

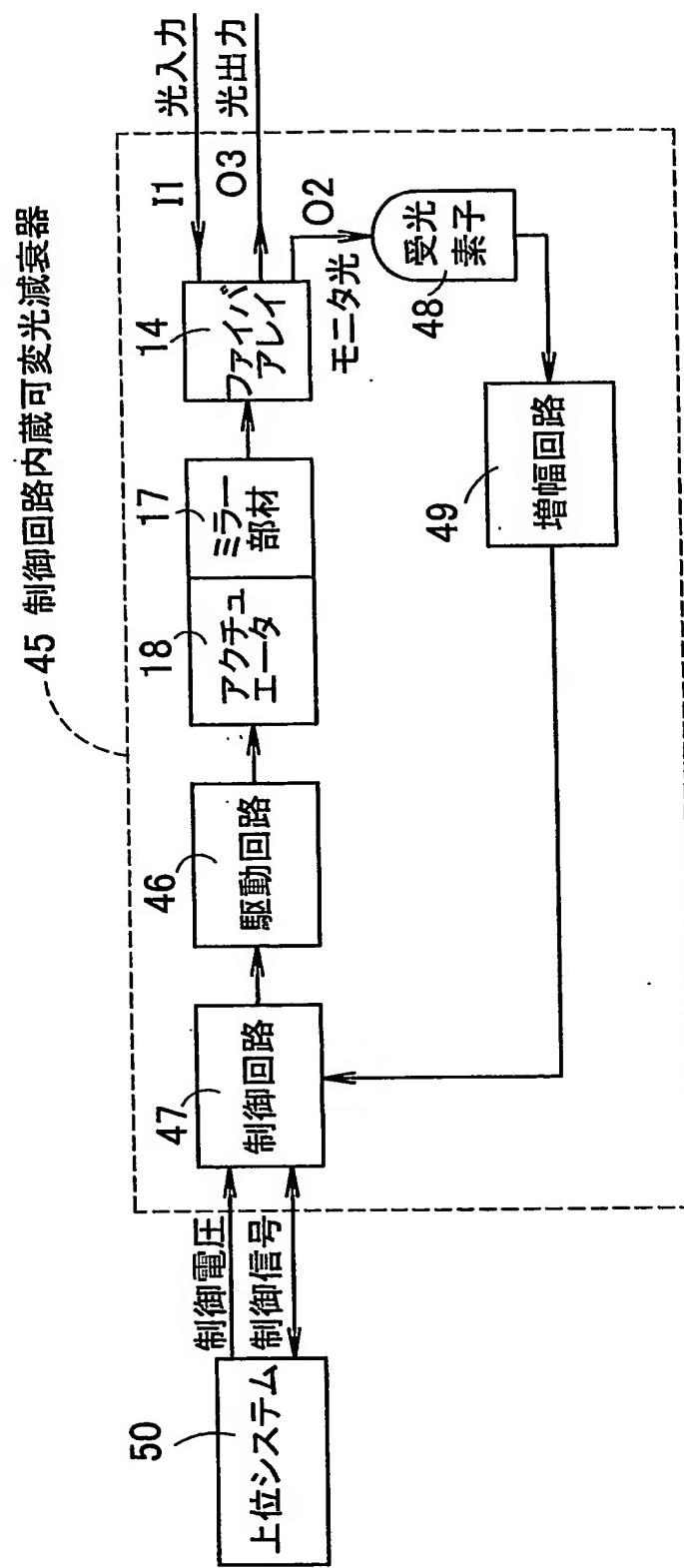


FIG.20

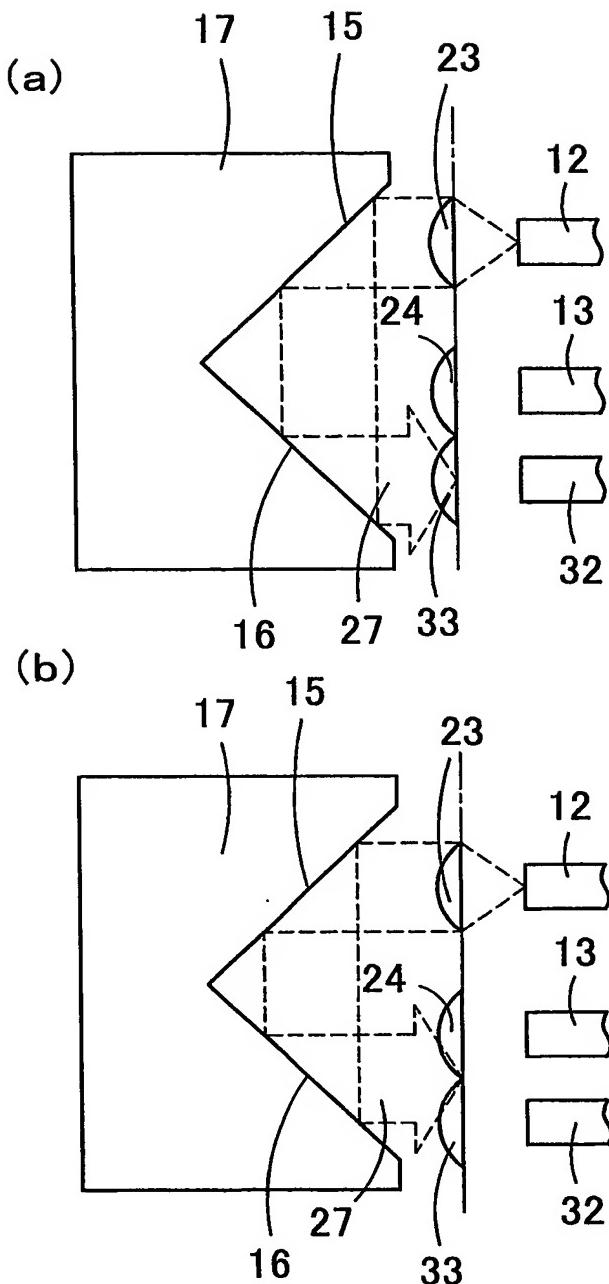


FIG.21

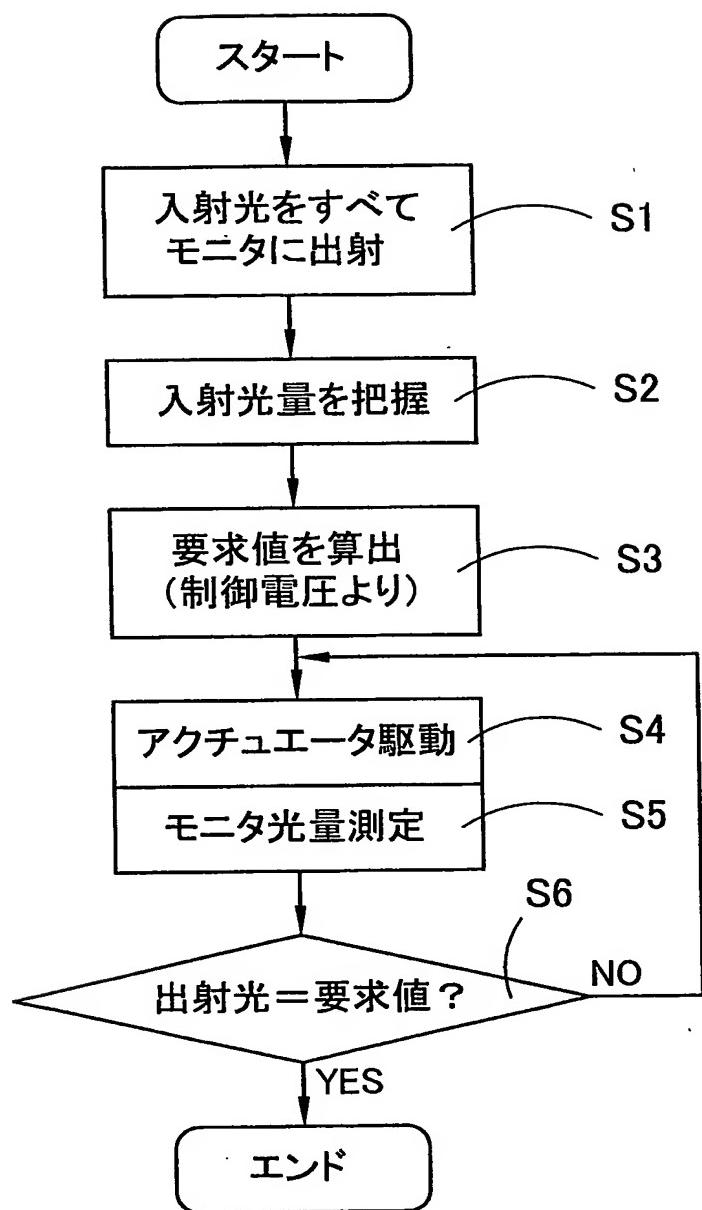


FIG.22

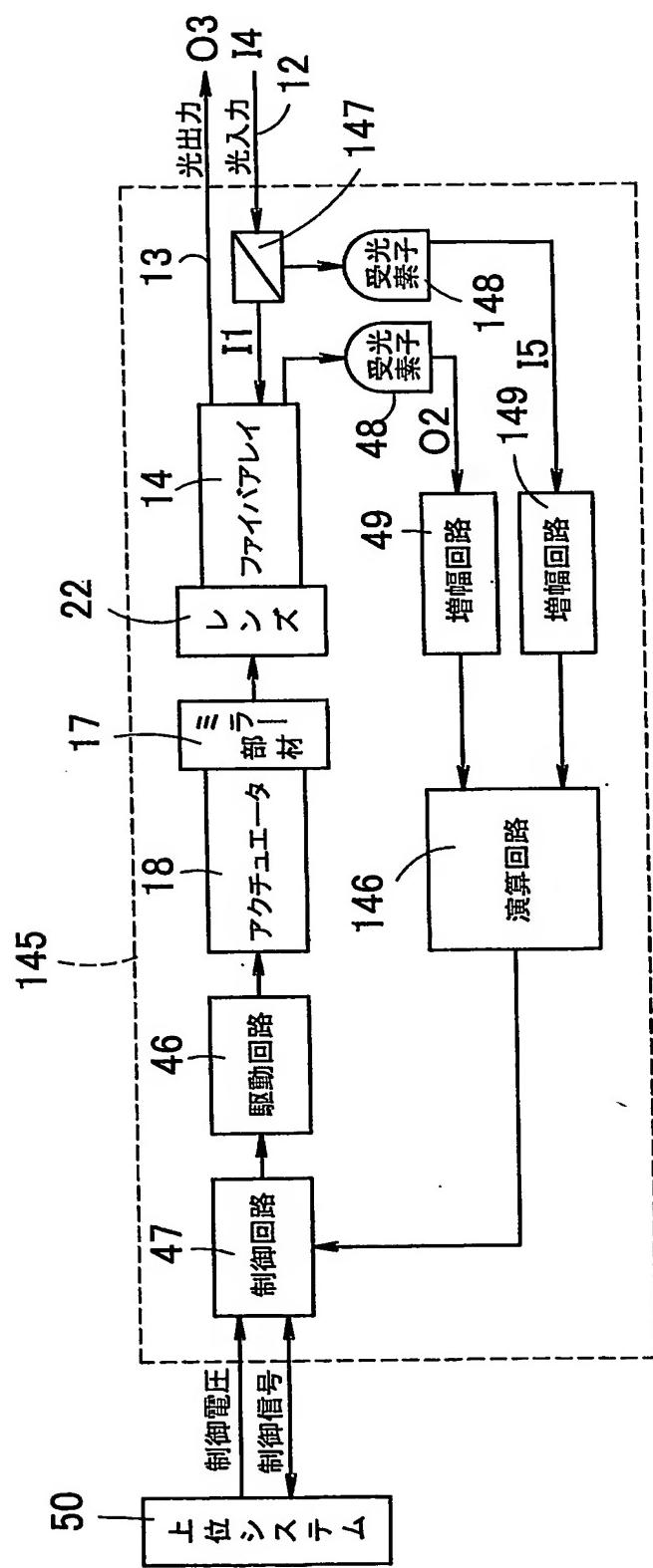


FIG.23

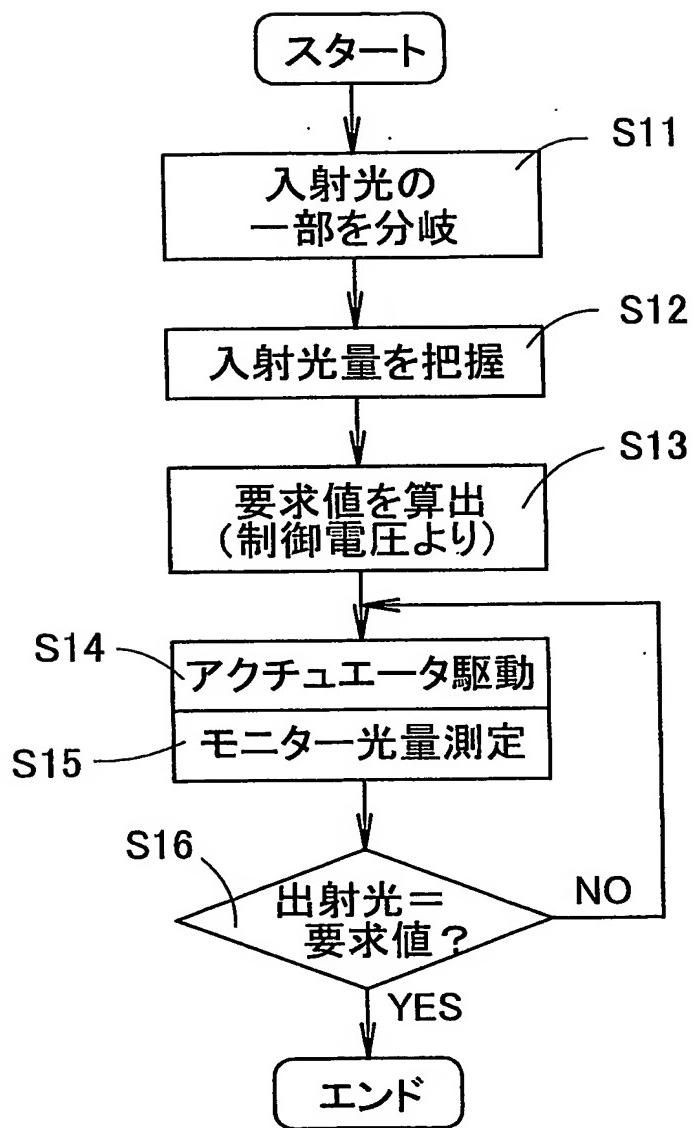


FIG.24

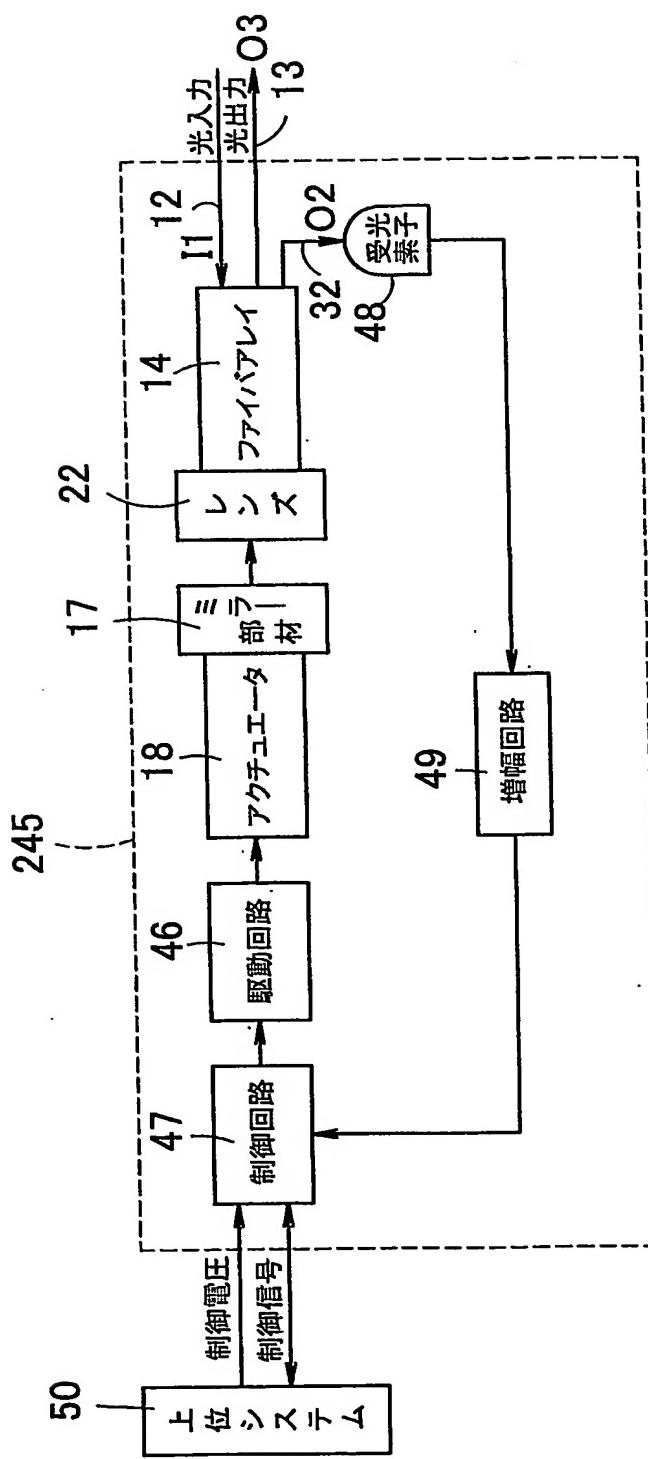
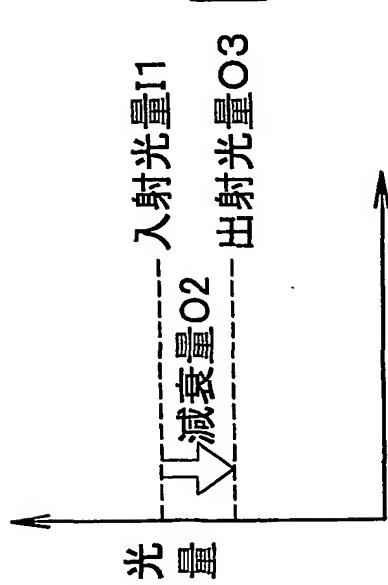


FIG.25

(a)



(b)

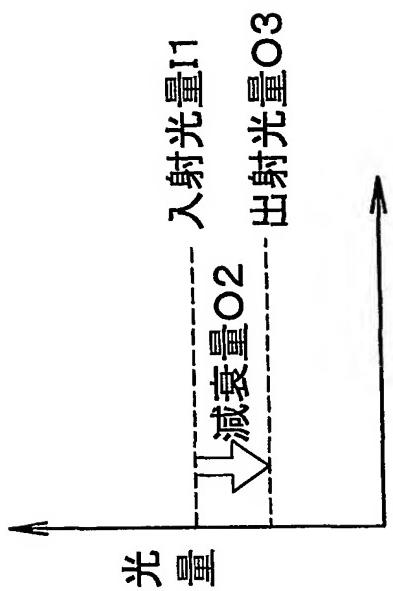


FIG.26

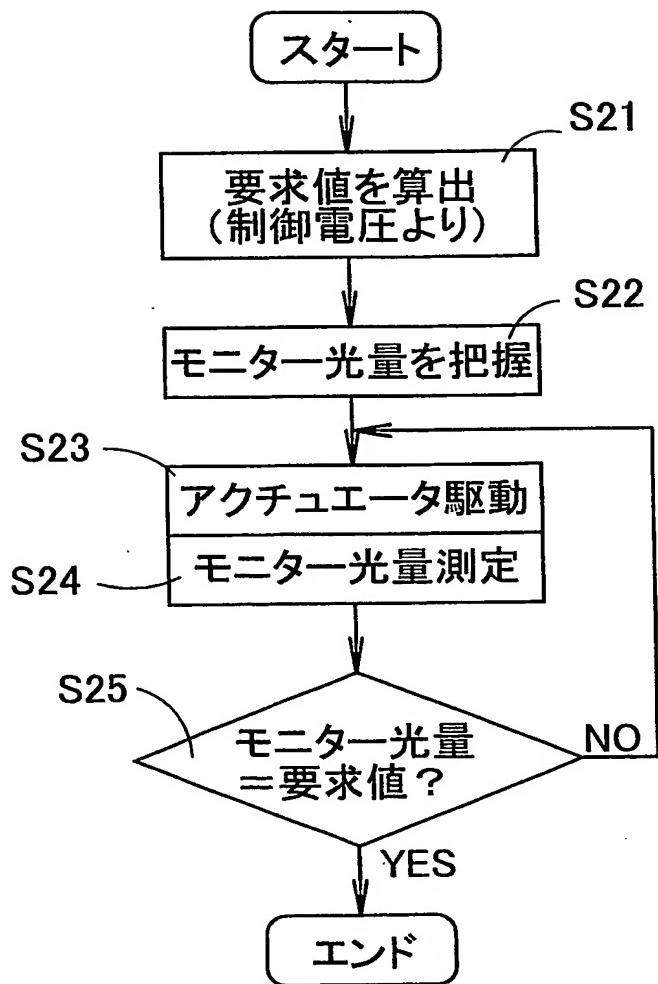


FIG.27

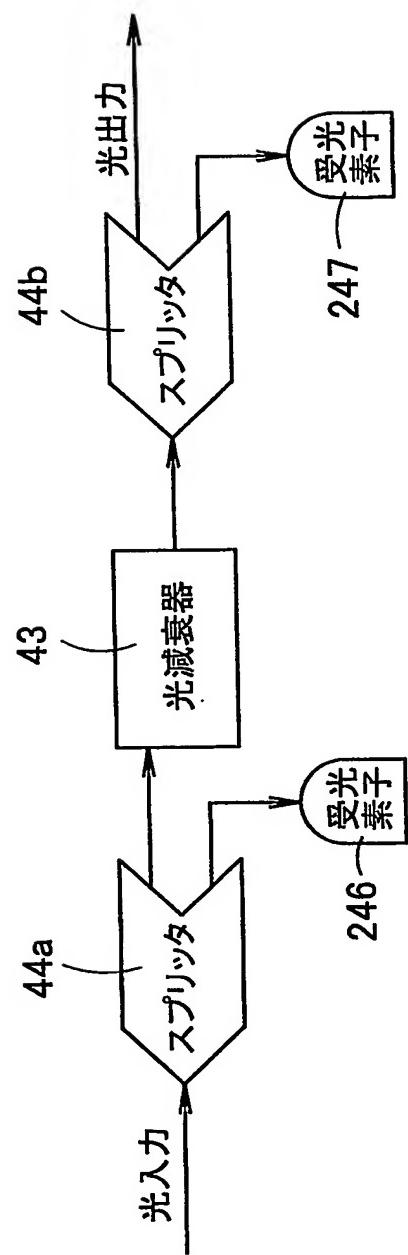


FIG.28

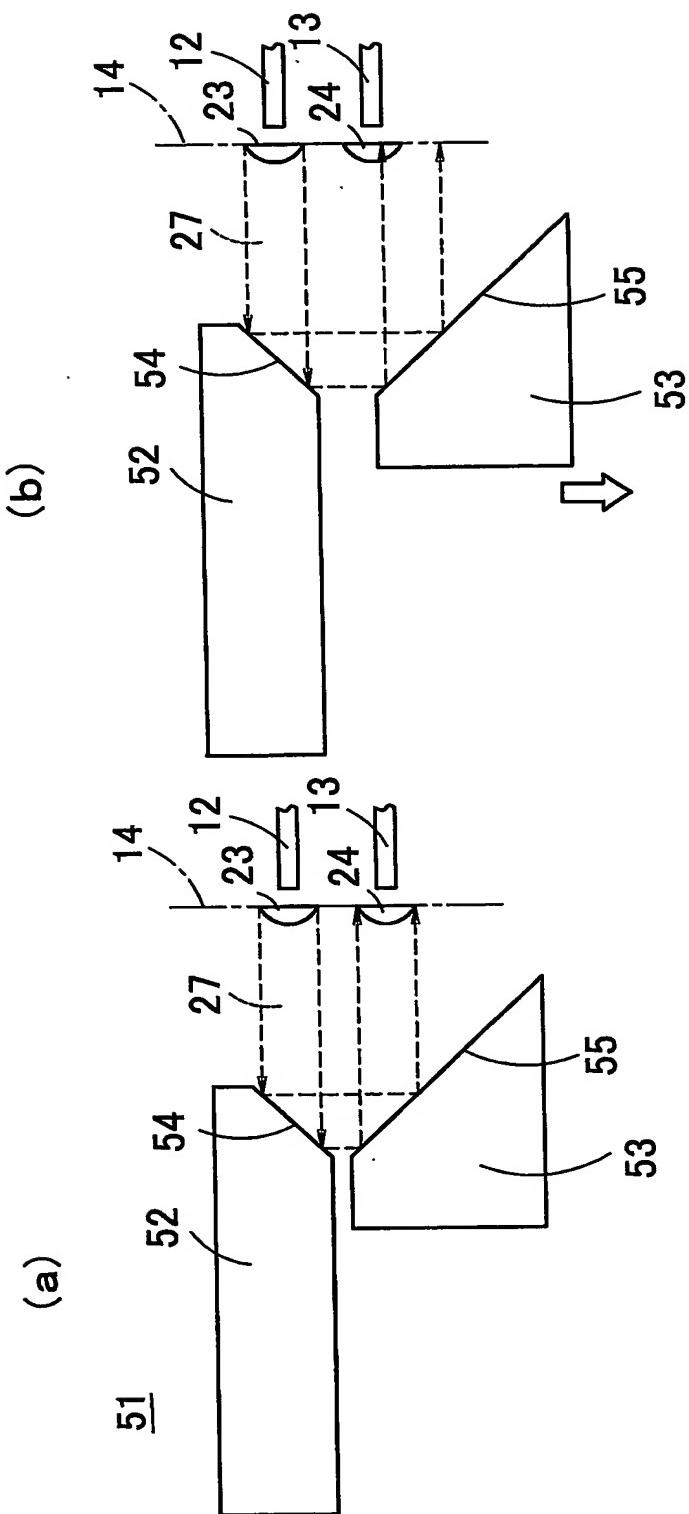
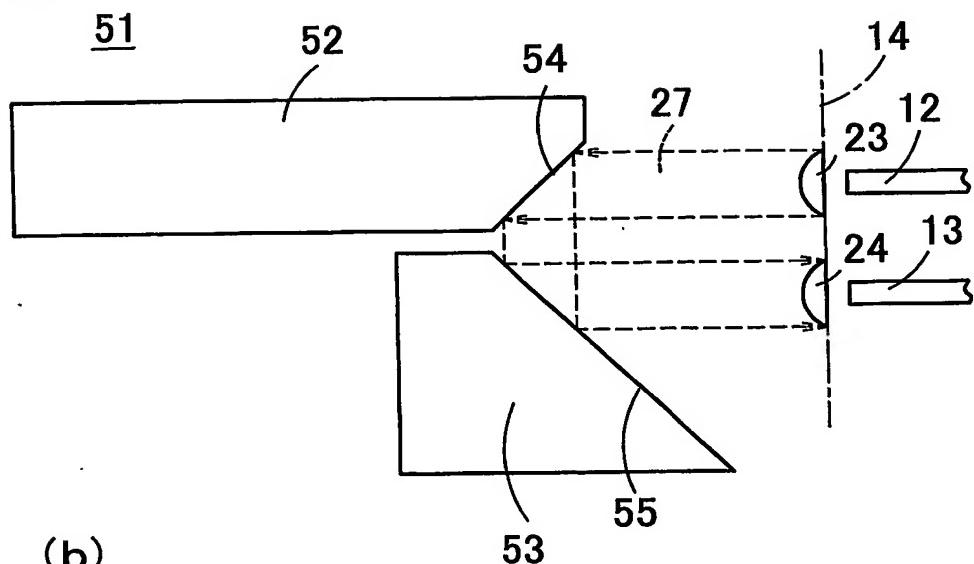


FIG.29

(a)



(b)

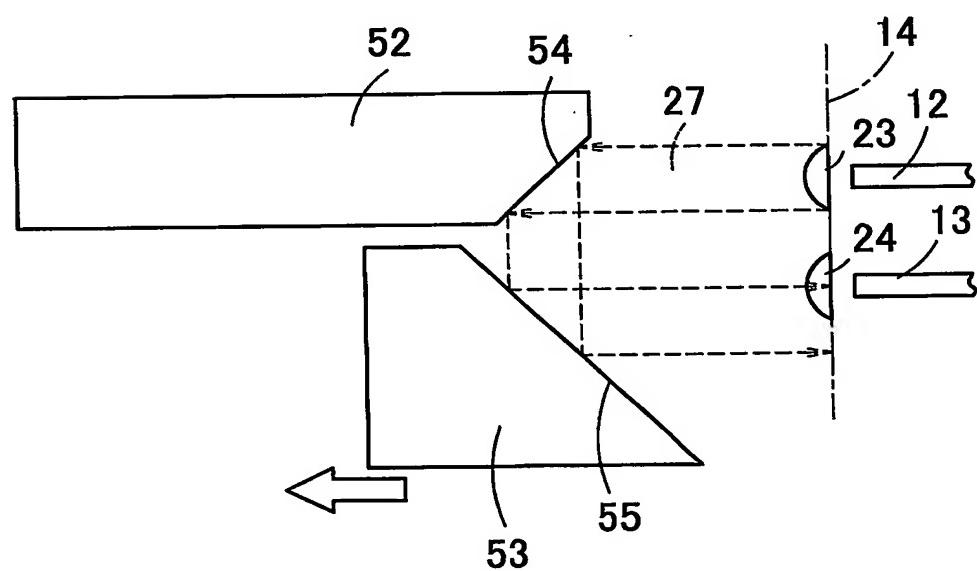


FIG.30

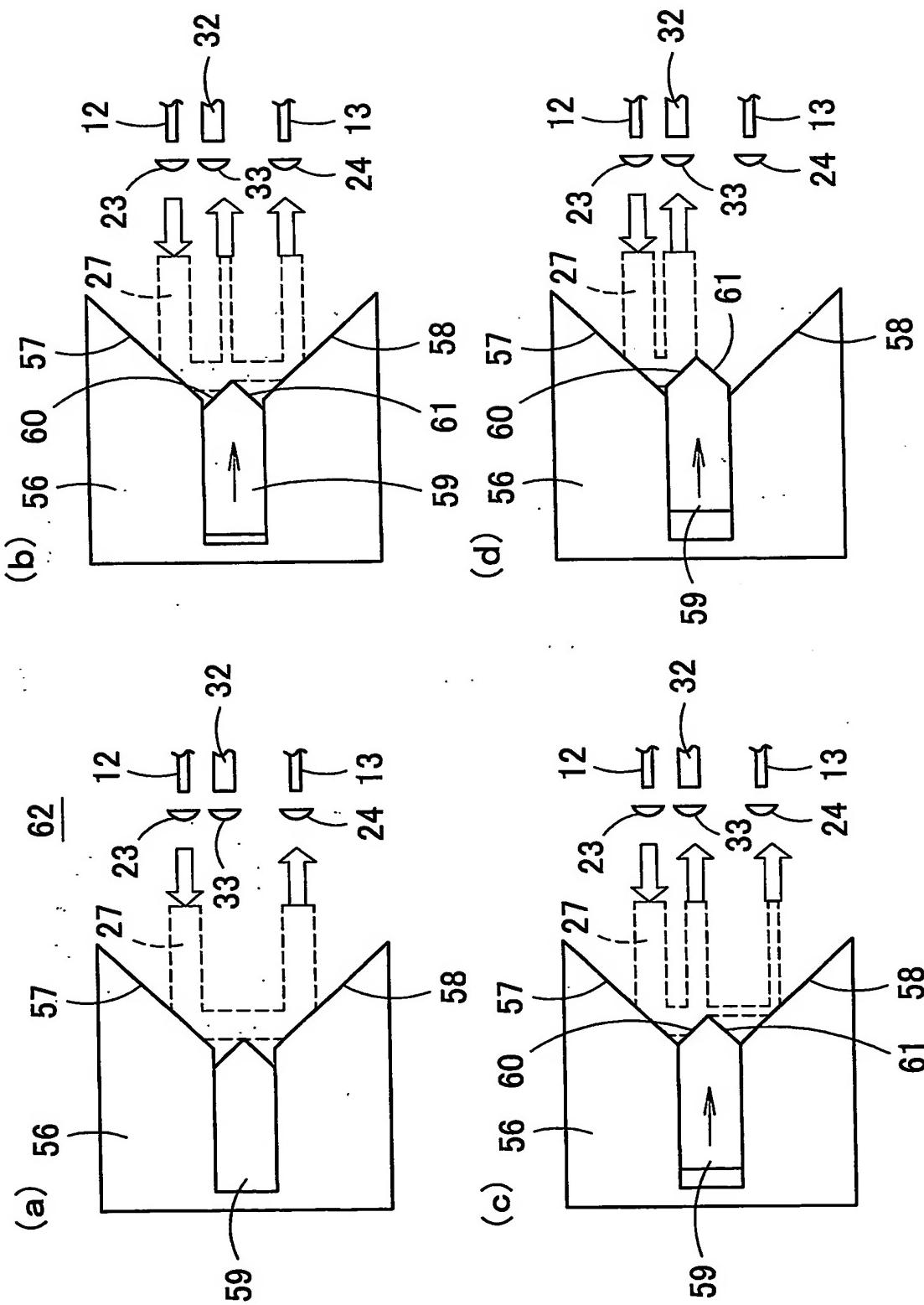


FIG.31

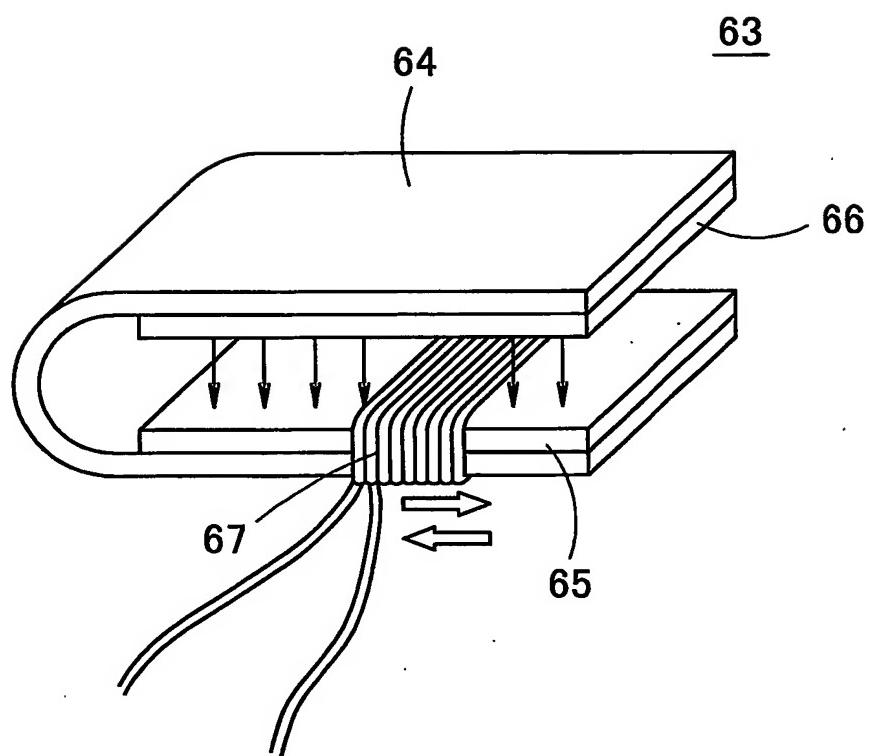
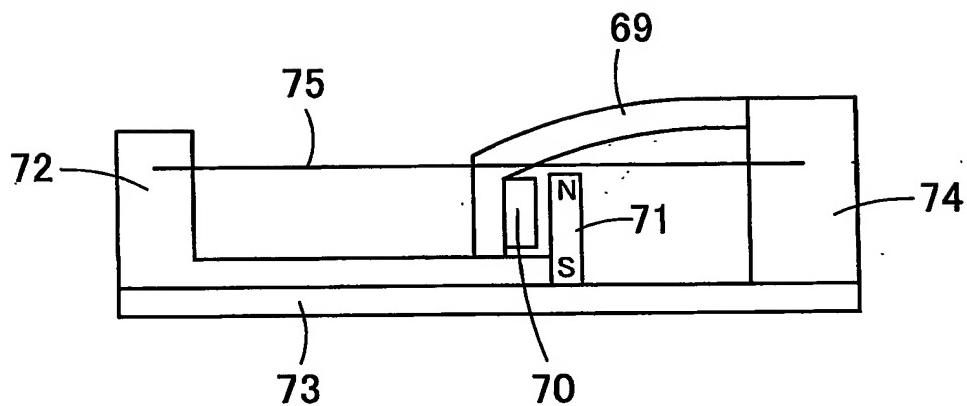


FIG.32

68

(a)



(b)

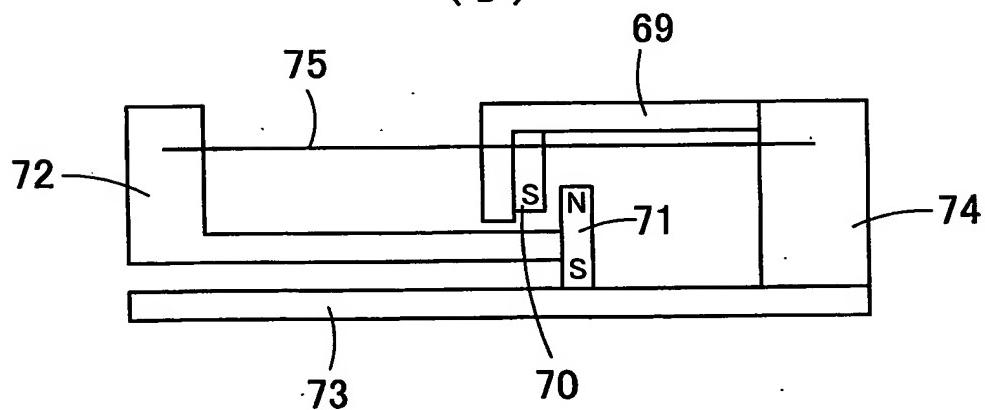


FIG.33

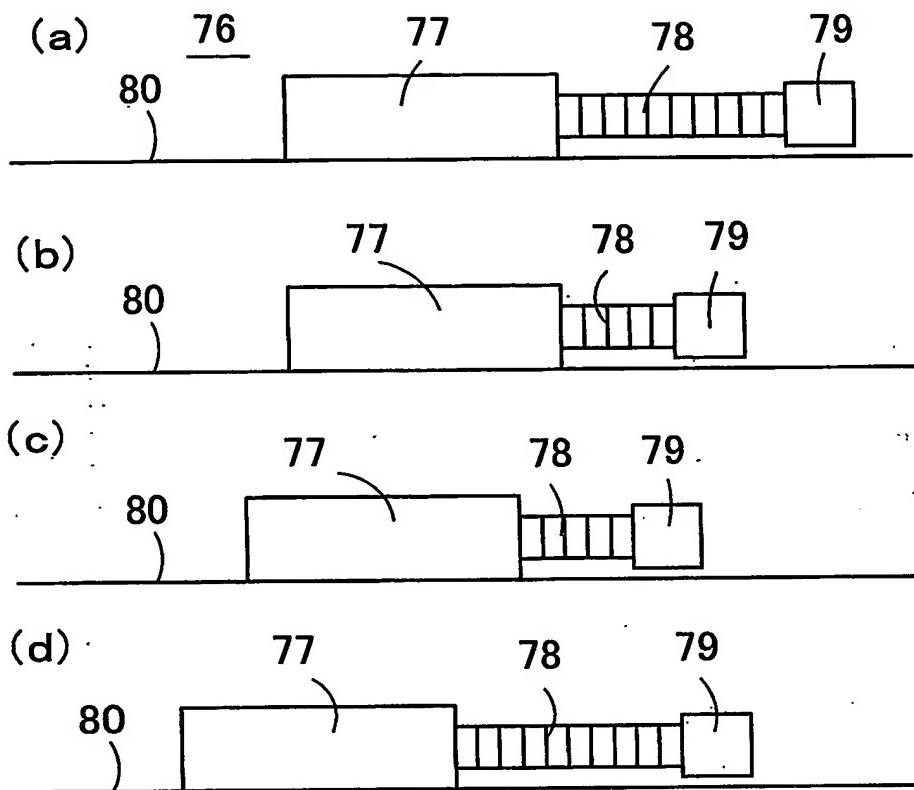


FIG.34

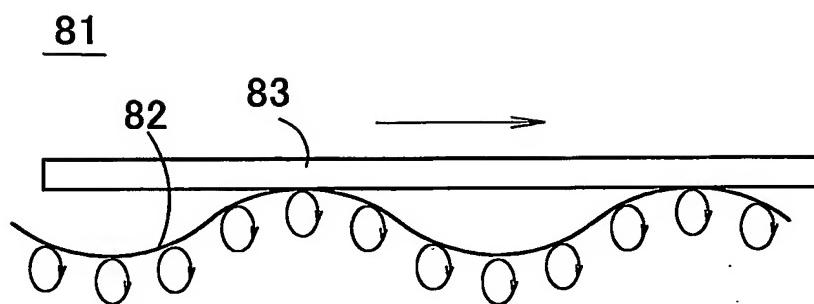


FIG.35

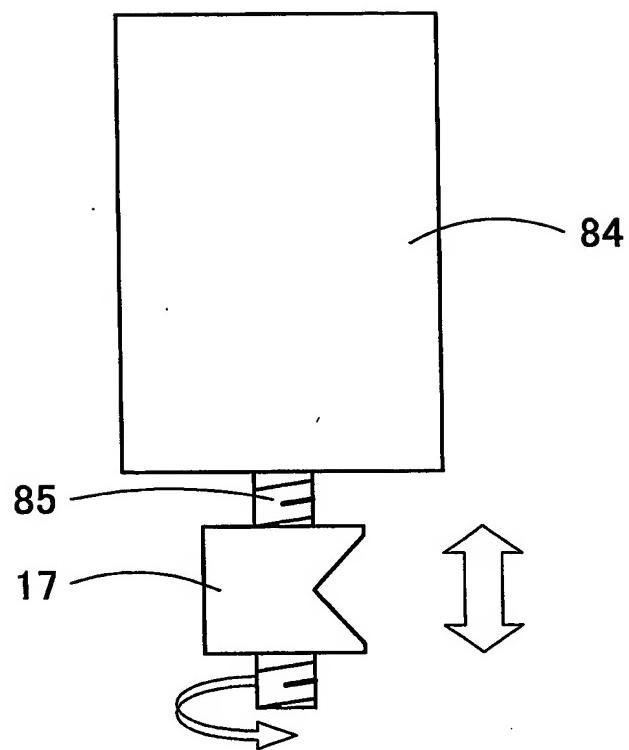


FIG.36

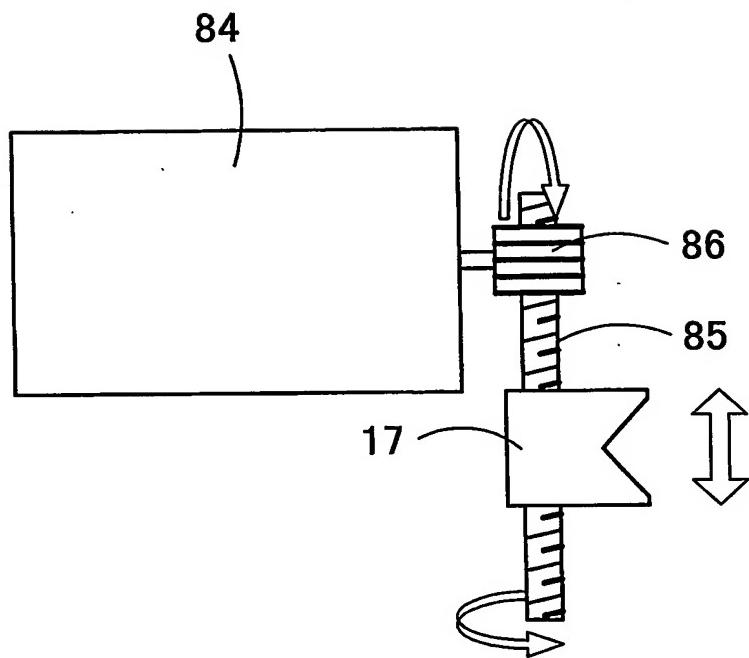


FIG.37

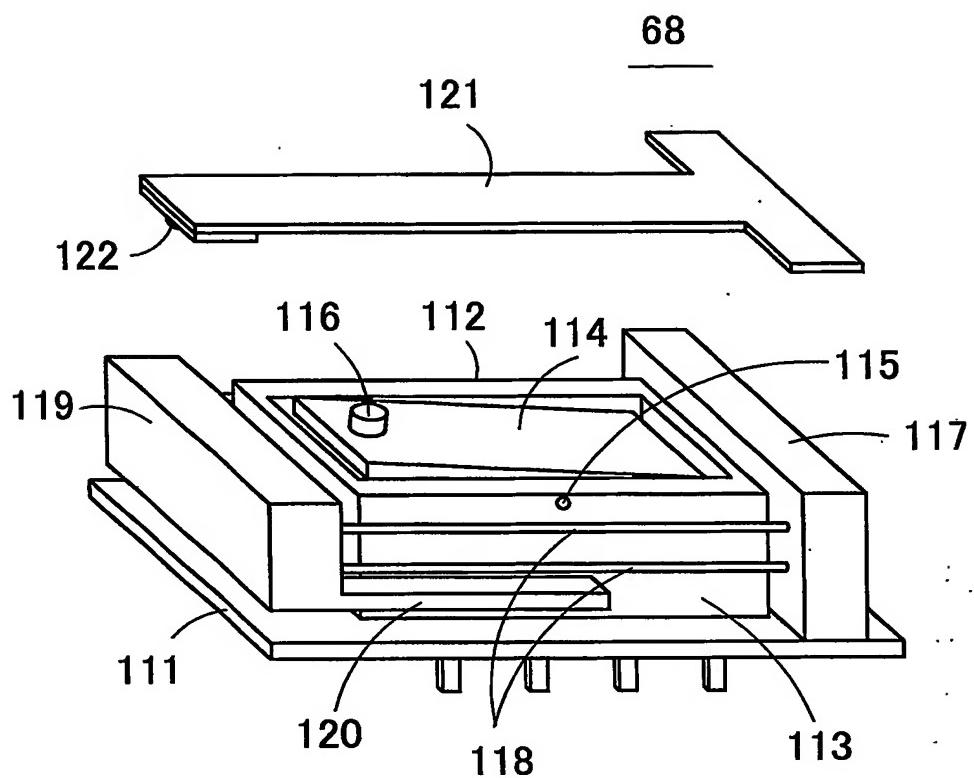
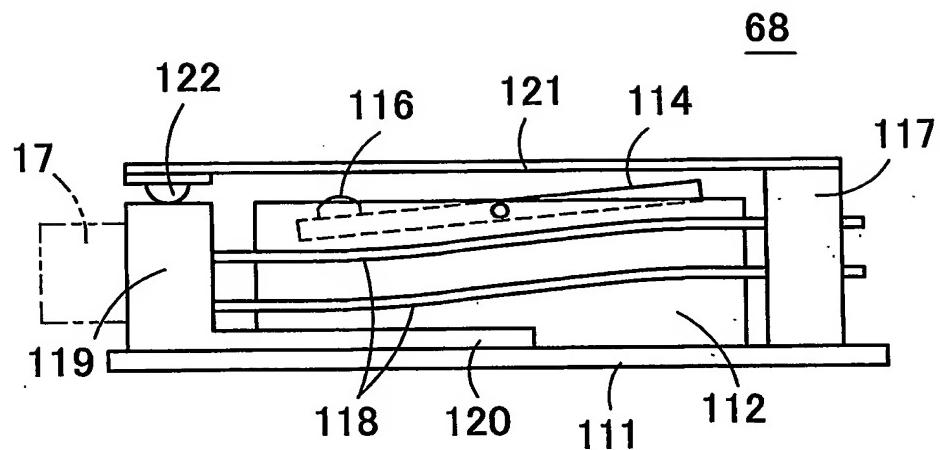


FIG.38

(a)



(b)

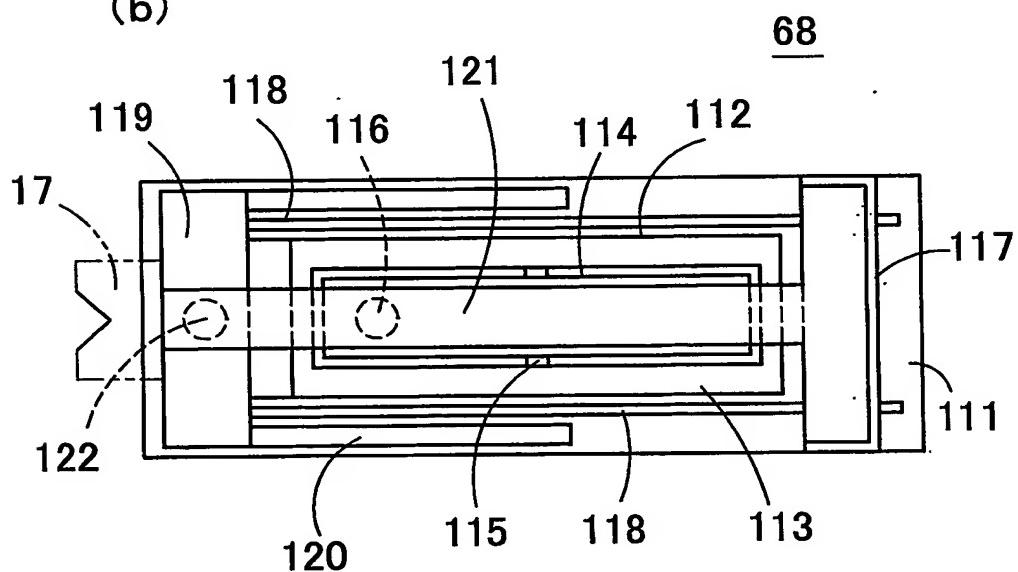


FIG.39

68

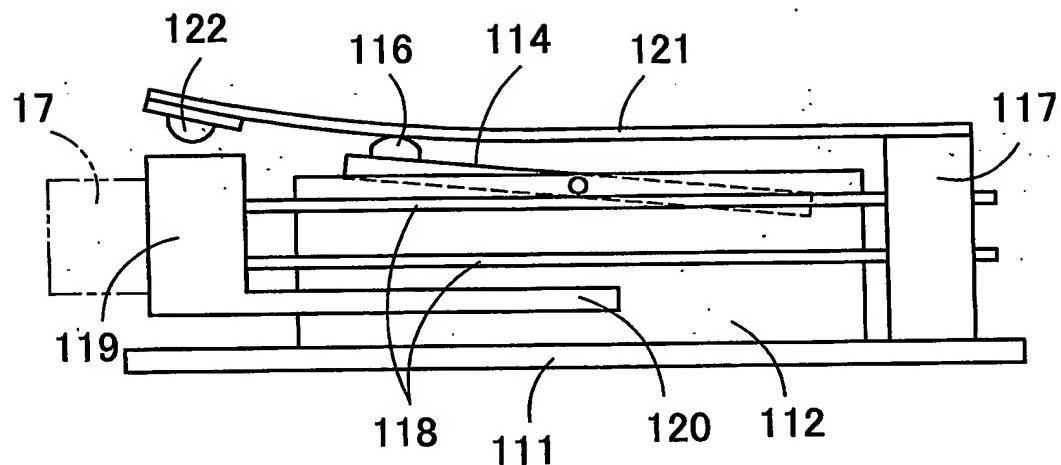
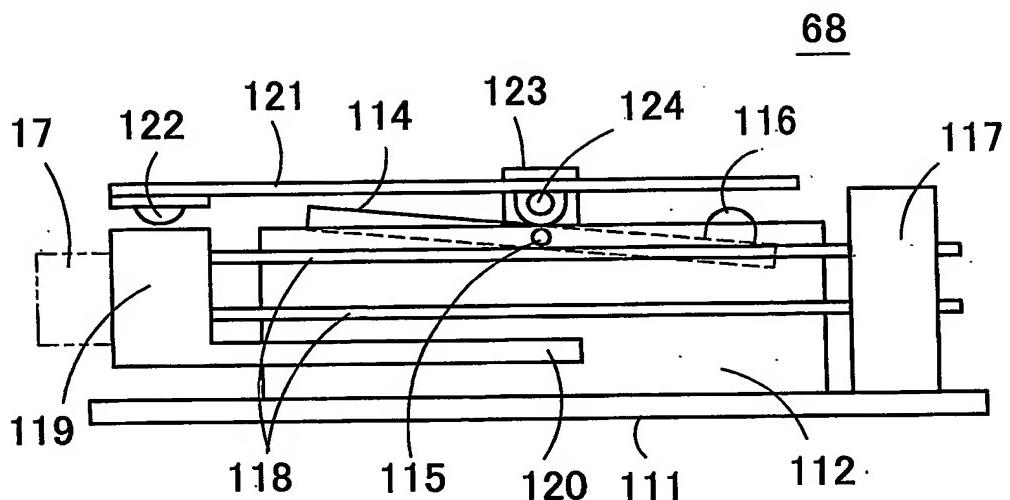


FIG.40

(a)



(b)

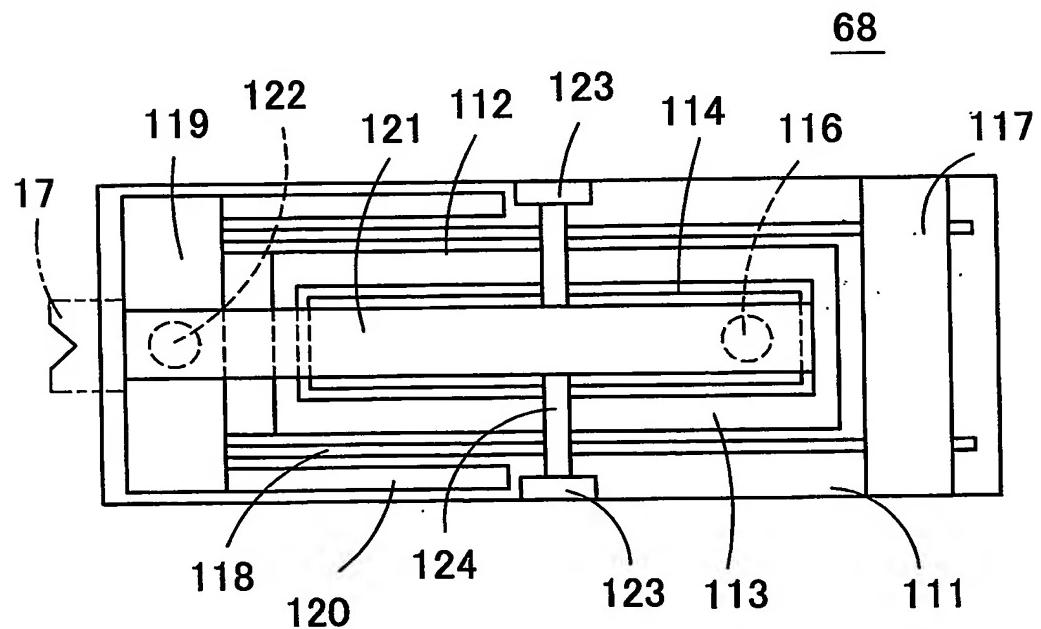


FIG.41

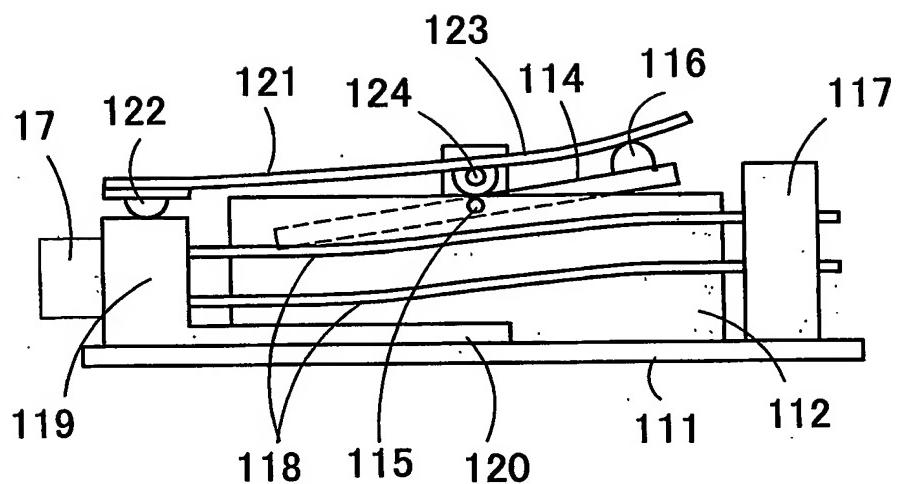
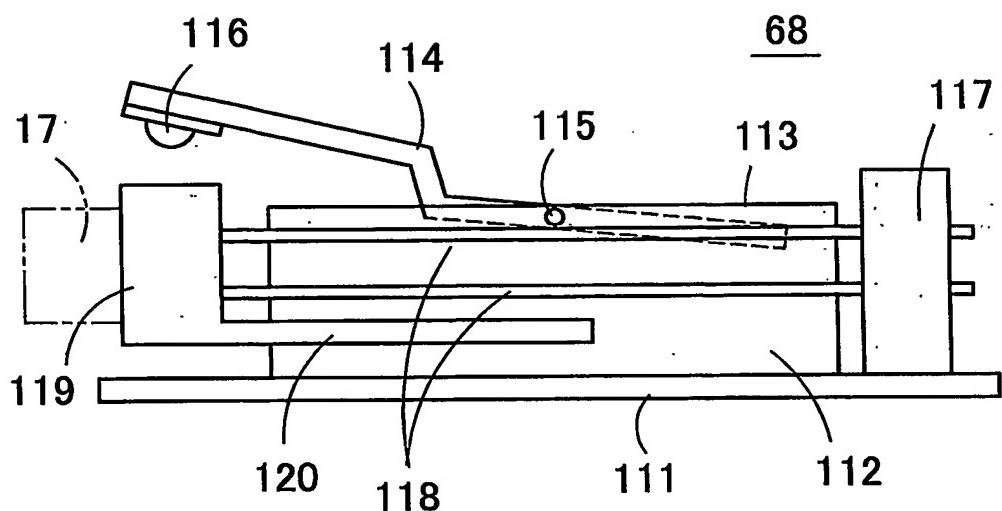
68

FIG.42

(a)



(b)

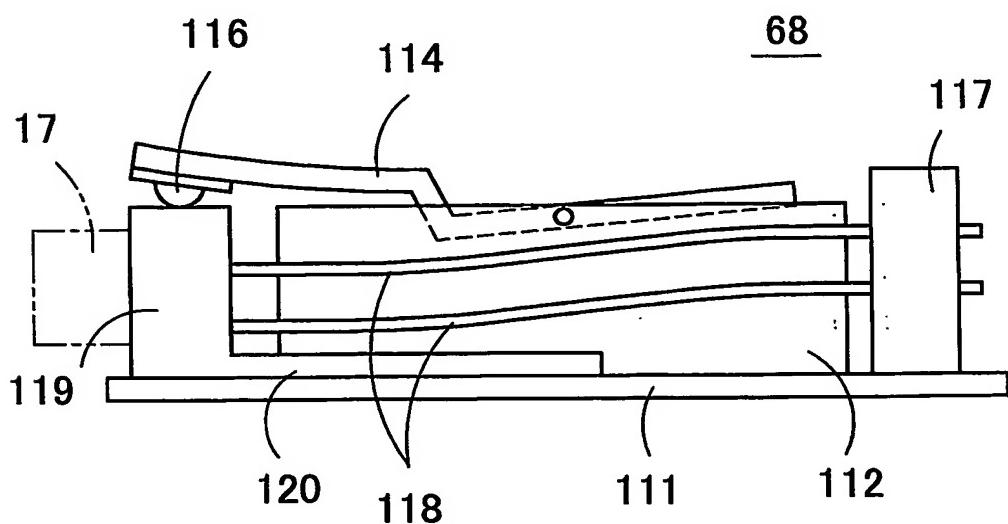


FIG.43

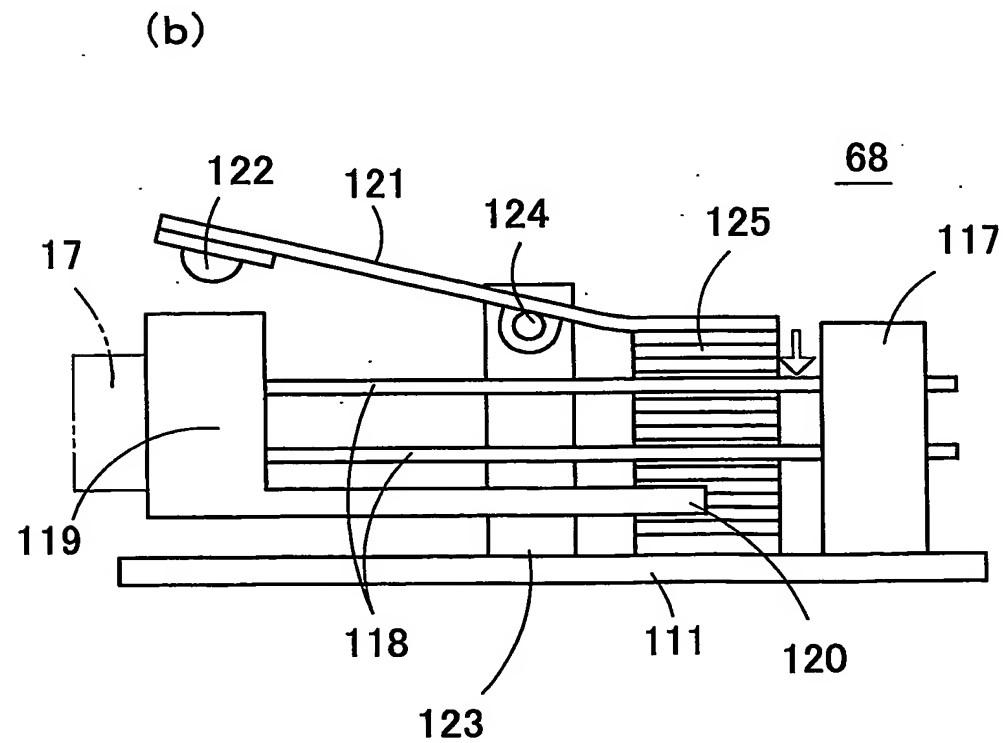
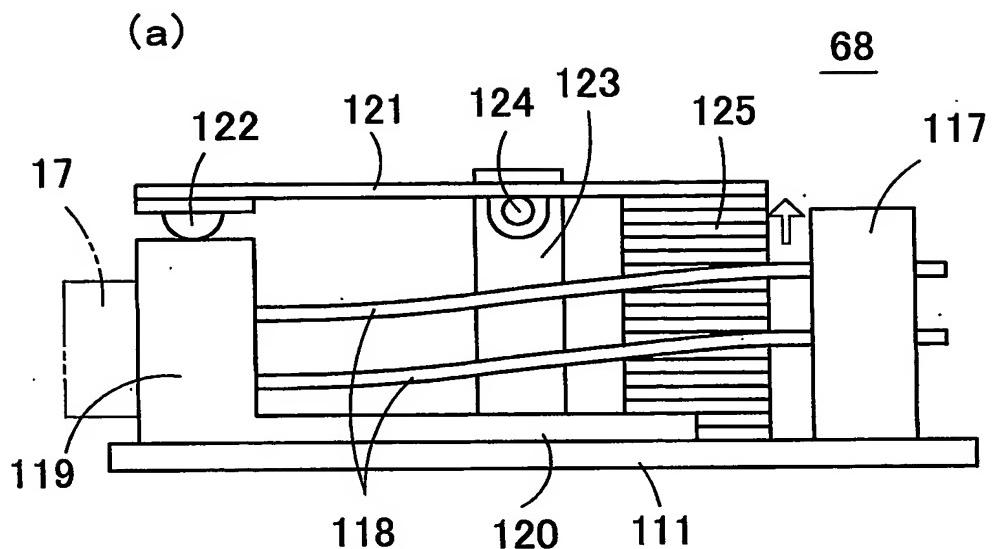
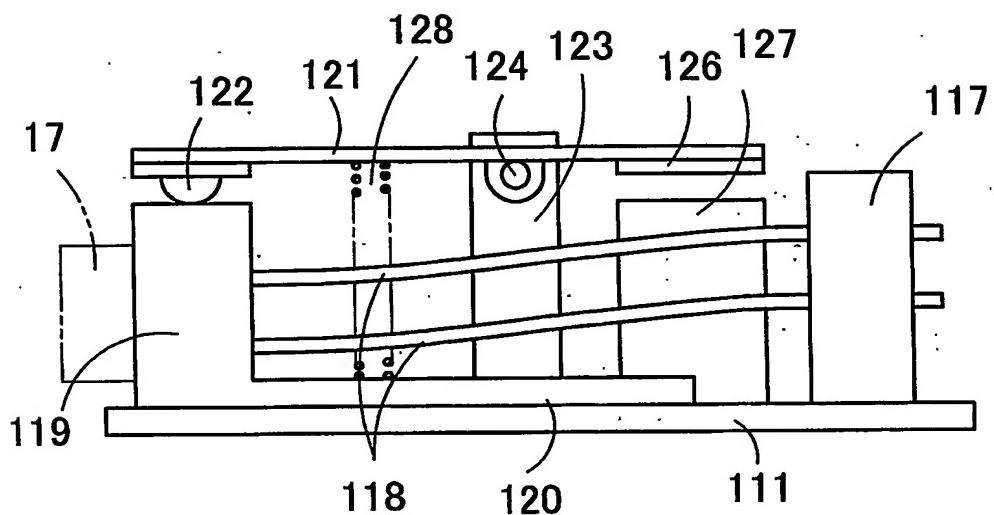


FIG.44

(a)

68

(b)

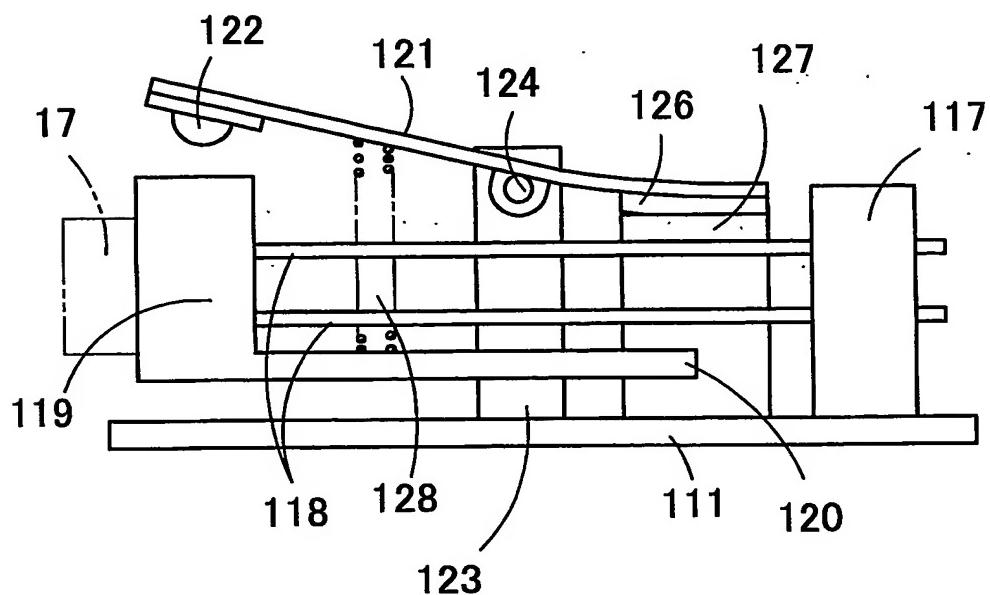
68

FIG.45

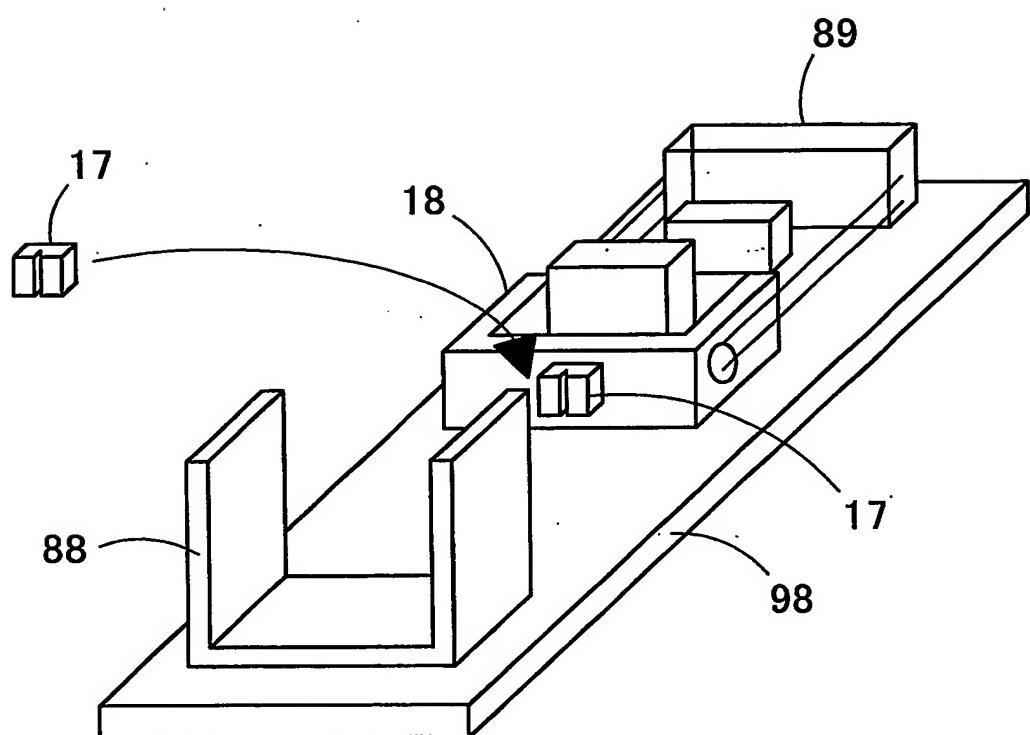


FIG.46

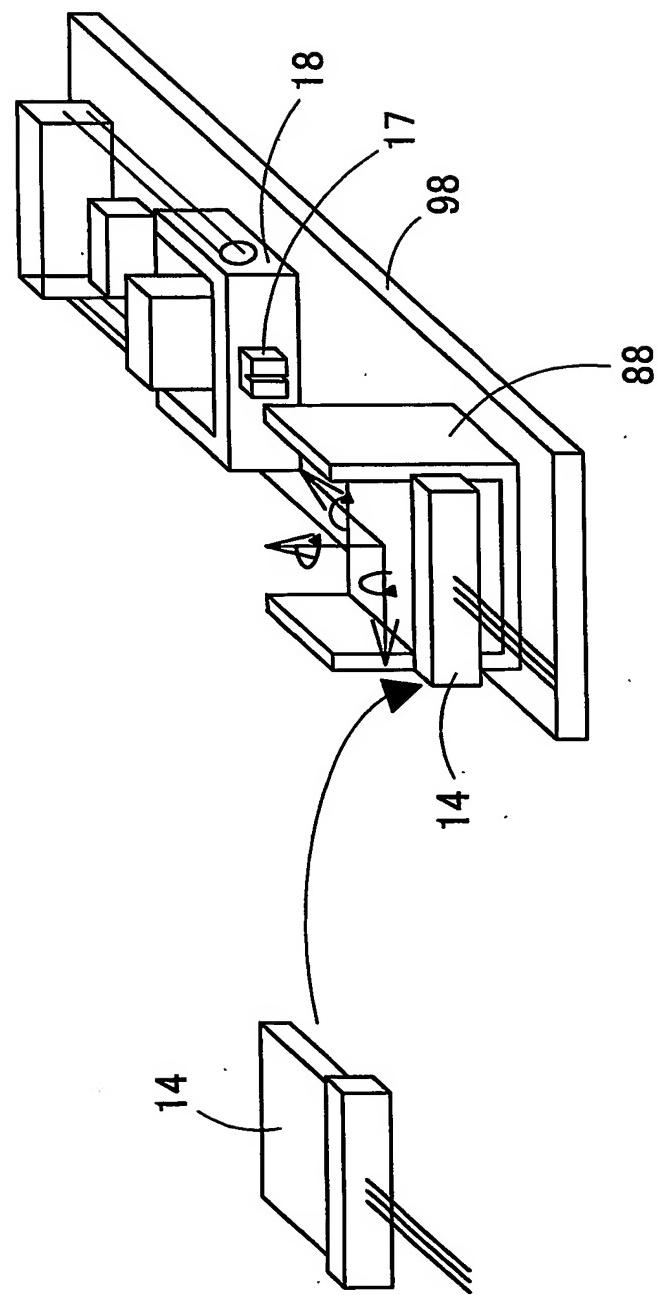


FIG.47

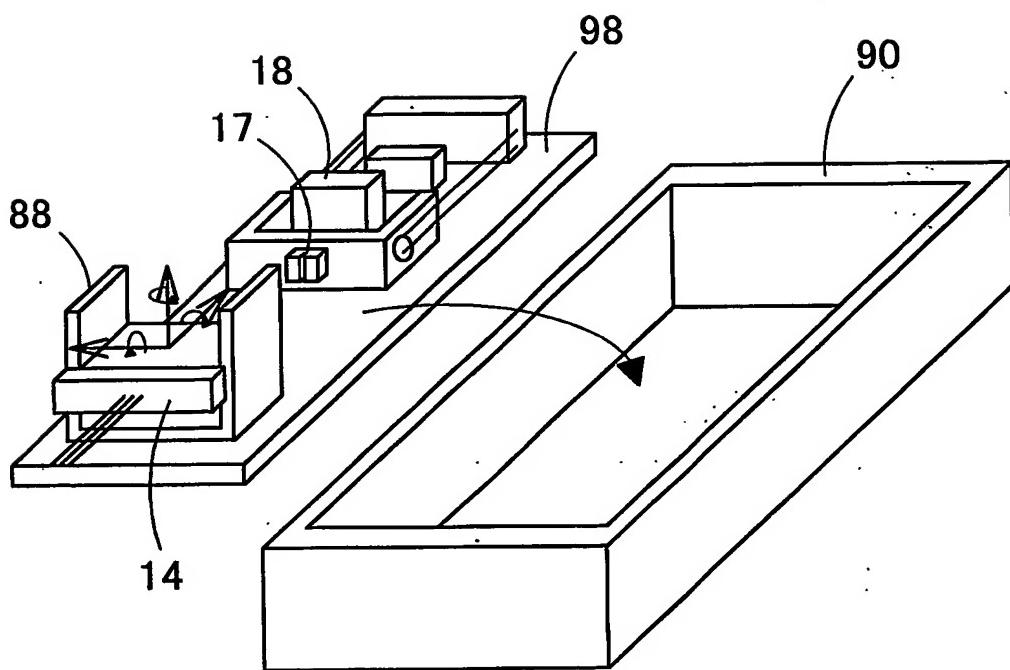


FIG.48

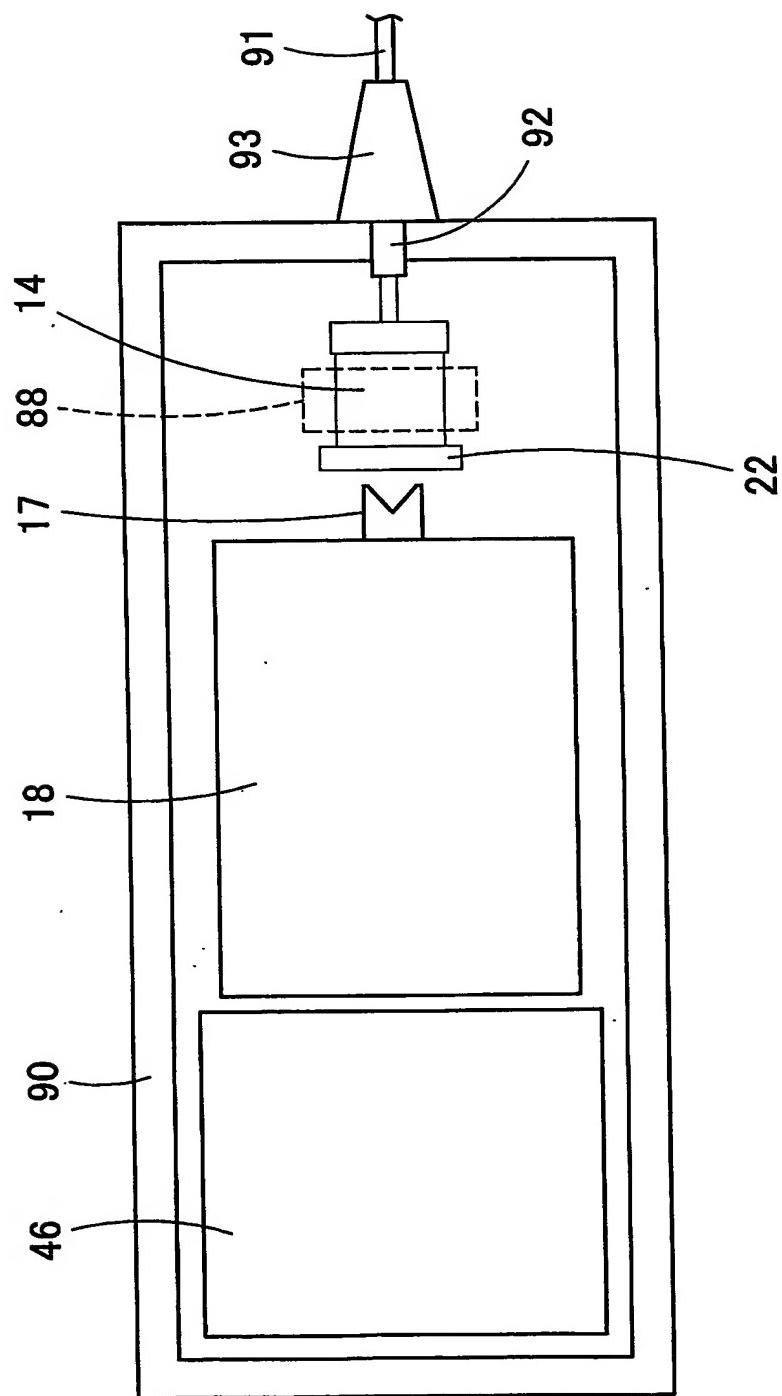


FIG.49

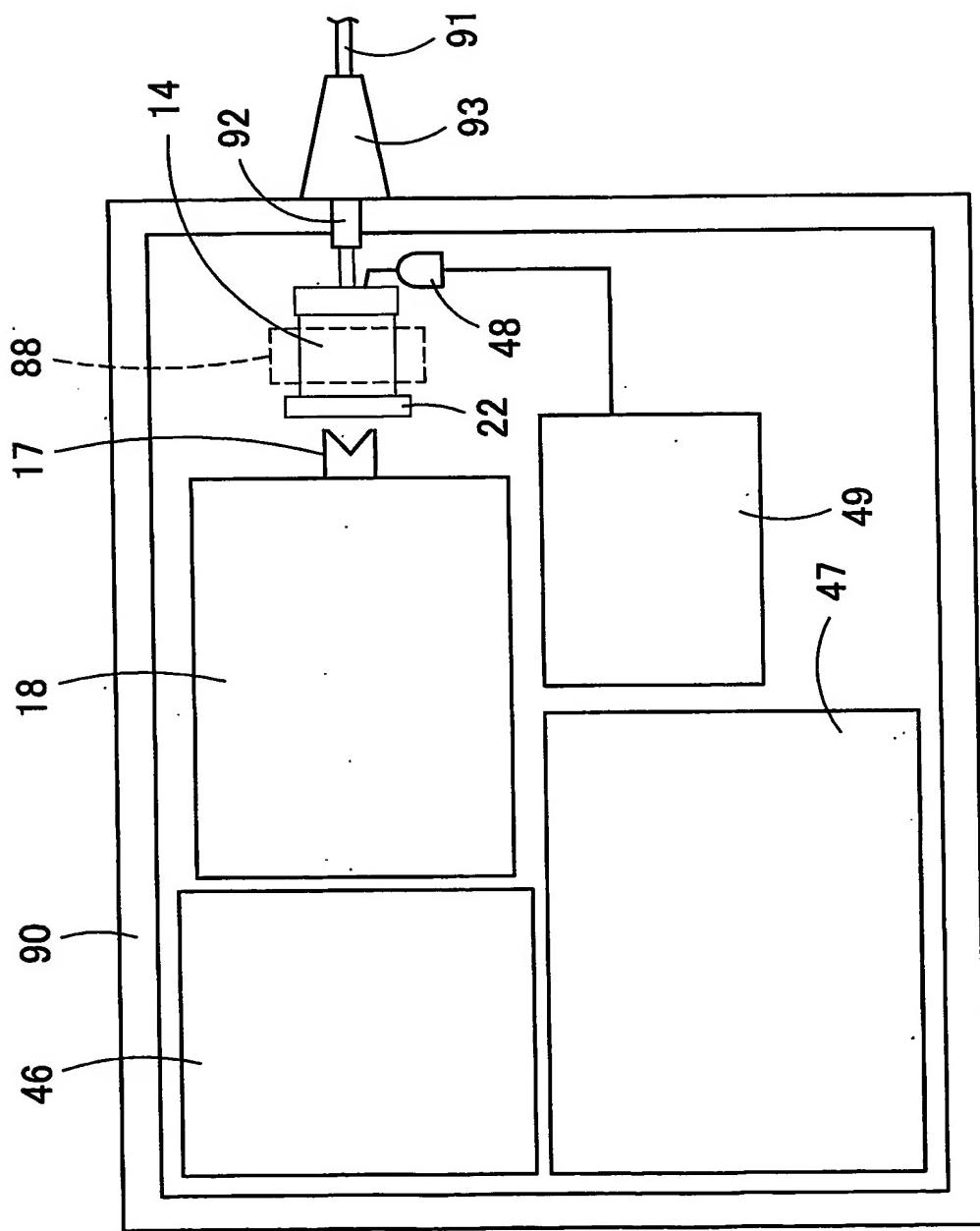


FIG.50

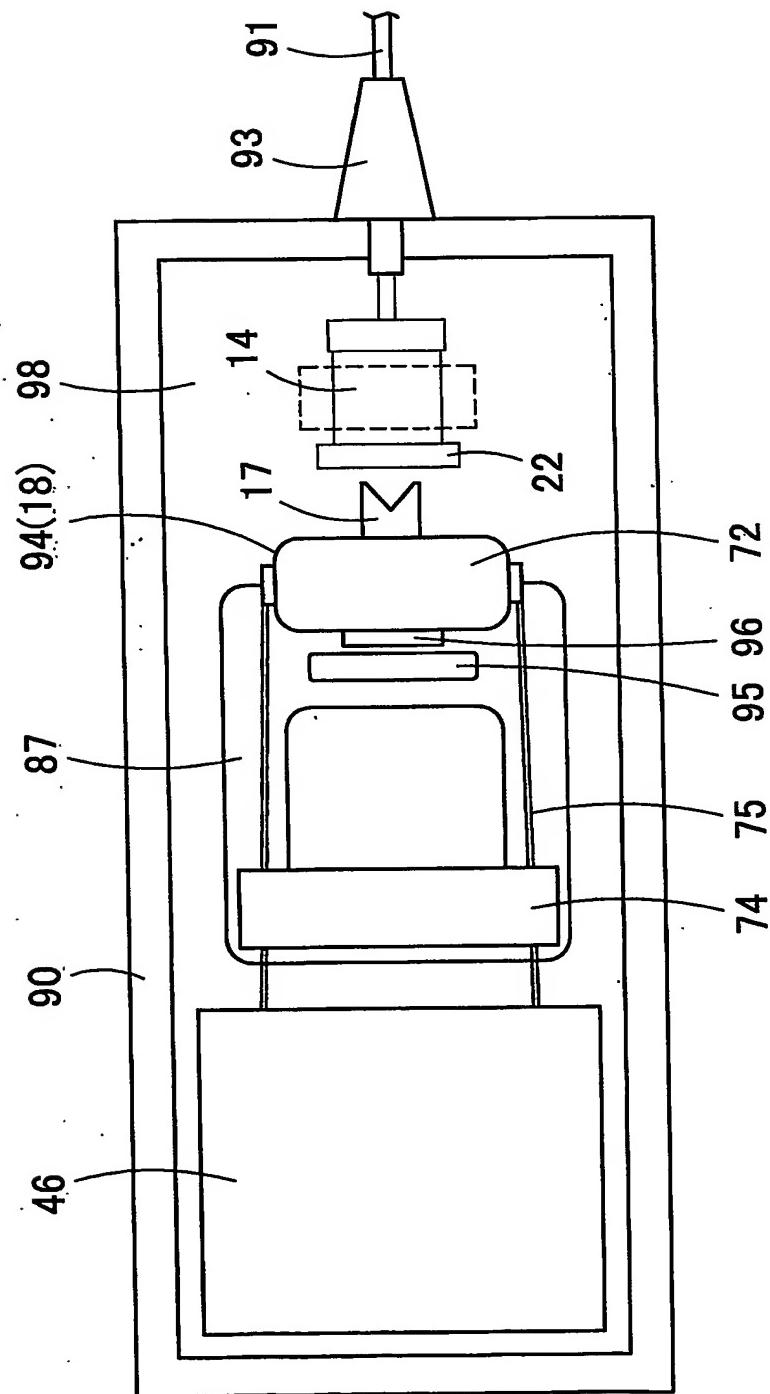


FIG.51

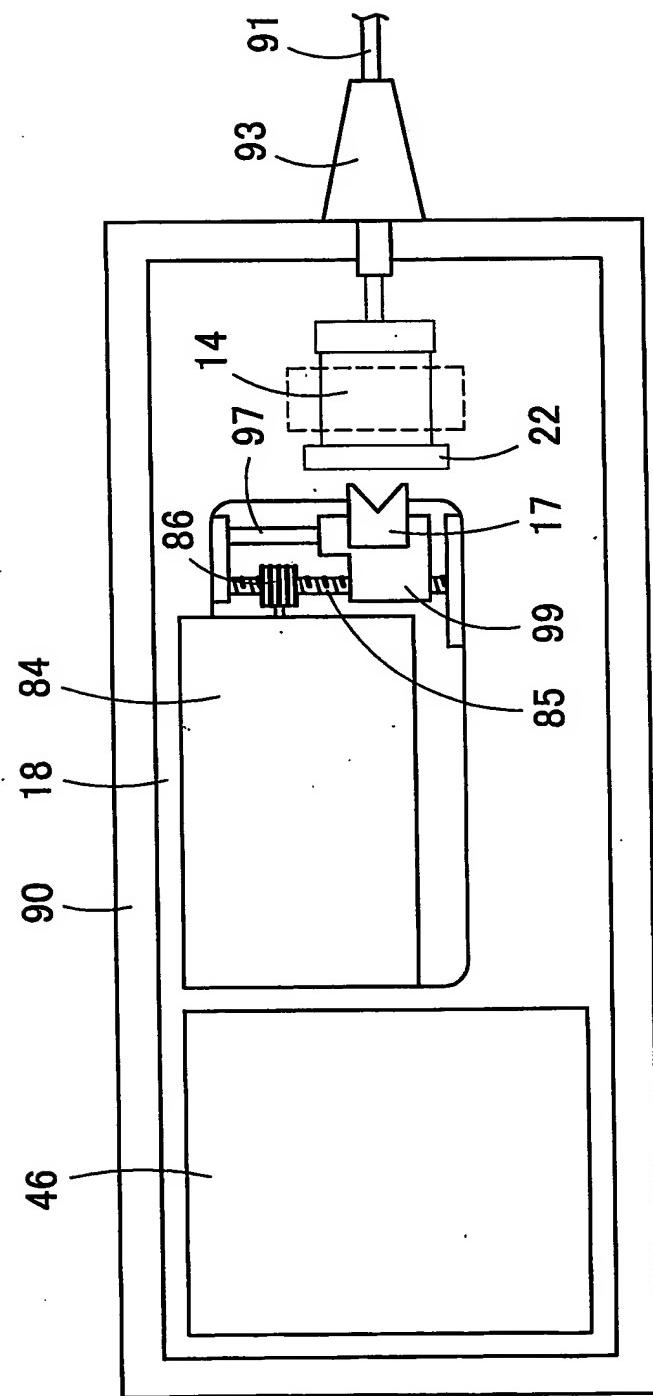


FIG.52

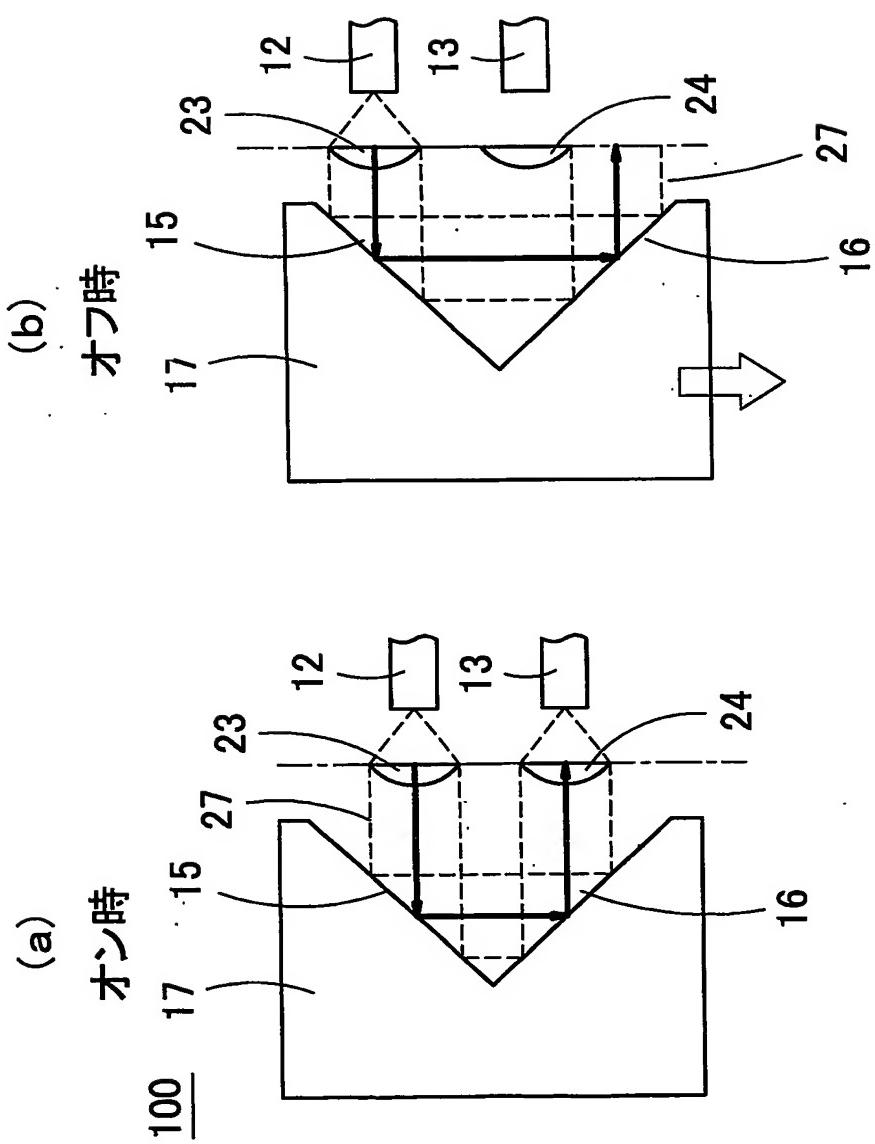


FIG.53

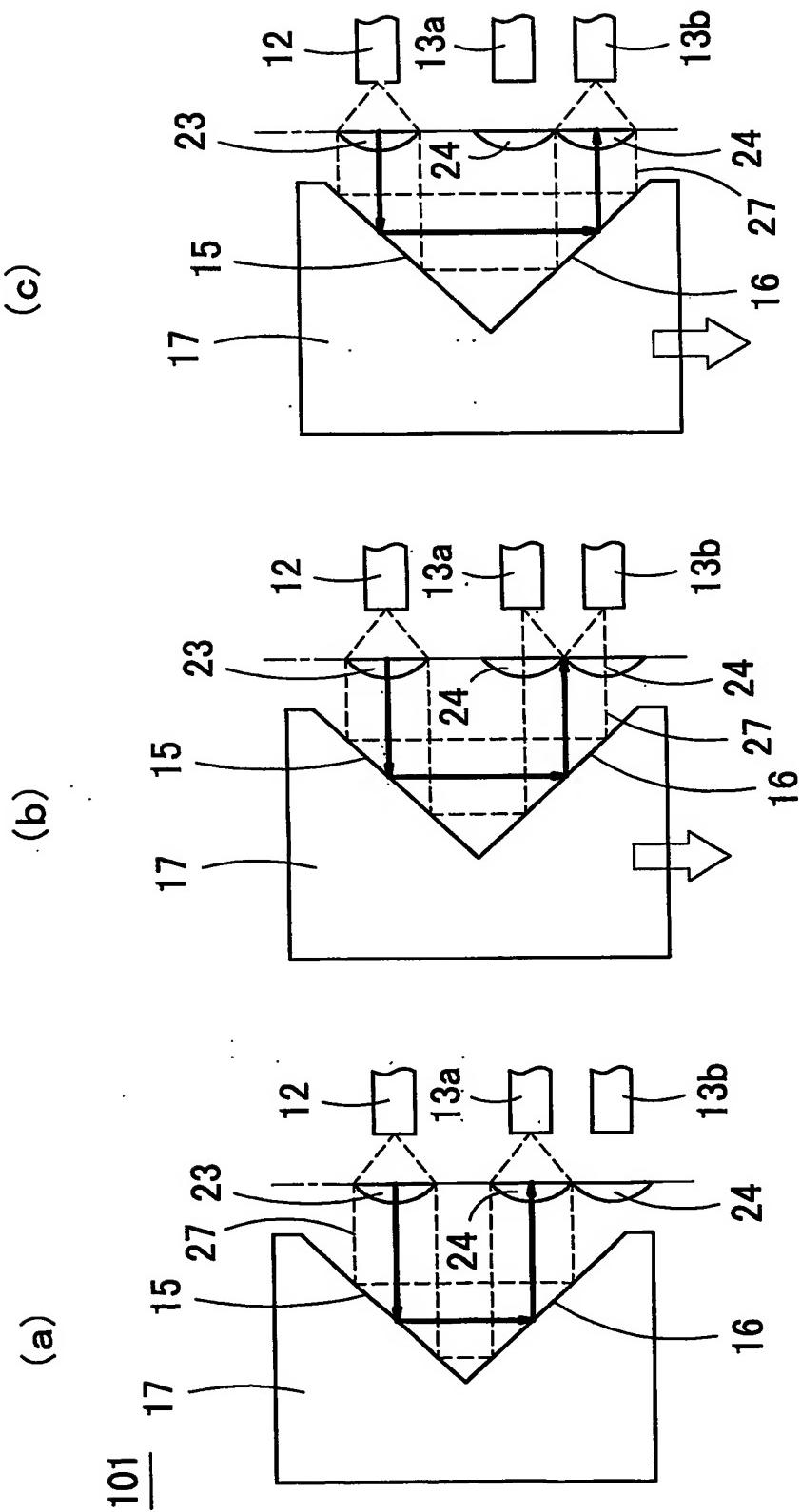


FIG.54

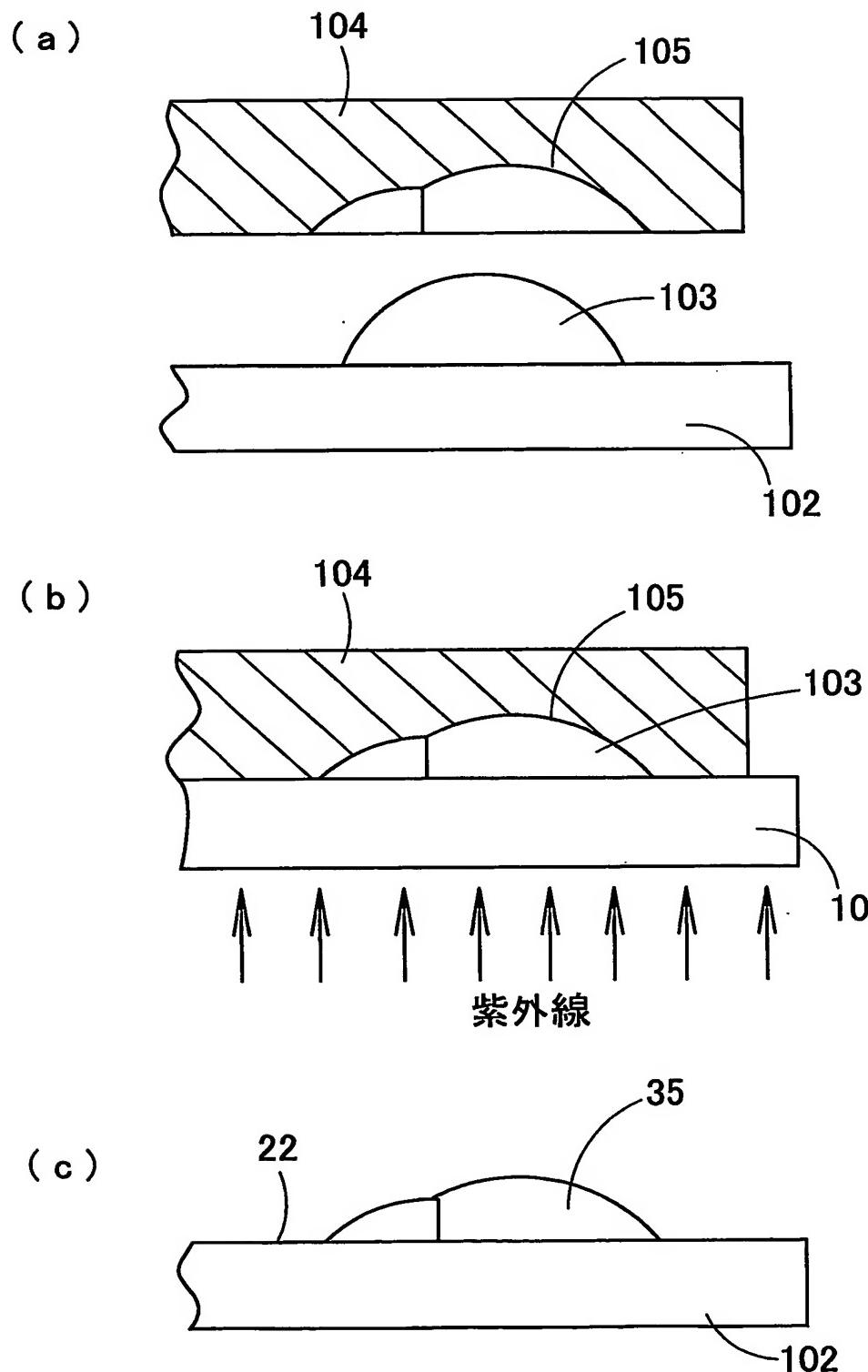


FIG.55

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/08188A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02B26/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02B26/02Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6304709 B (NEC Corp.), 16 October, 2001 (16.10.01), & JP 10-307264 A	1, 6, 8, 9
X	JP 2-58721 U (Hitachi Cable, Ltd.), 26 April, 1990 (26.04.90), (Family: none)	1, 6, 8, 9
E, X	JP 2003-195191 A (Delta Electronics Inc.), 09 July, 2003 (09.07.03), (Family: none)	1, 8, 9

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

- * Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 September, 2003 (25.09.03)Date of mailing of the international search report
14 October, 2003 (14.10.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))

Int. C17 G02B26/02

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))

Int. C17 G02B26/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	US 6304709 B (NEC Corporation) 2001.10.16 & JP 10-307264 A	1, 6, 8, 9
X	JP 2-58721 U (日立電線株式会社) 1990.04.26 (ファミリーなし)	1, 6, 8, 9
EX	JP 2003-195191 A (デルタ エレクトロニクス インコーポレーテッド) 2003.07.09 (ファミリーなし)	1, 8, 9

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.09.03

国際調査報告の発送日

14.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官(権限のある職員)

田部 元史

2 X 8708

電話番号 03-3581-1101 内線 3293